



TÍTULO

TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA DEL OLIVAR ESTUDIO DE CASO

AUTORA

Laia Foraster Pulido

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2022
Fecha de lectura	01/02/2016
Institución	Universidad Internacional de Andalucía
Directores	Dra. D ^a . Gloria Isabel Guzmán Casado ; Dr. D. Antonio José Pujadas Salvà
Programa de Doctorado	Doctorado en Agroecología: un Enfoque Sustentable de la Agricultura Ecológica
ISBN	978-84-7993-641-9
©	Laia Foraster Pulido
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2015



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>

Transición agroecológica del olivar Estudio de caso

Laia Foraster Pulido



TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA DEL OLIVAR ESTUDIO DE CASO

Por Laia Foraster Pulido

Directores de tesis:
Dra.Gloria I.Guzmán Casado
Dr.Antonio Pujadas Salvá

Tesis presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad Internacional de
Andalucía

Programa Oficial de Posgrado:
“Agroecología: Un enfoque Sustentable de la Agricultura Ecológica”



Sede Antonio Machado, Baeza 2015

Arte revuelto, de infancias maestro, querido;
de viejo cobijo, secreto de vida,
ancha oliva, ¡quédate conmigo!

Gritas callando injusticias, sufrido;
de gentes y extraños de largo camino.

Refugio de siestas, pájaros y fiestas;
a través de perfumes sabido.

Cálido y rugoso,
tejido de amores, llantos y amigos,
ancha oliva, ¡quédate conmigo!

A mis abuelos

Teresina Roselló i Boada
Concha Leiva Arroyo
Ramón M^a Foraster Roselló
Ángel Pulido Quesada

AGRADECIMIENTOS

Debería agradecer a tantas personas su participación en este trabajo que seguramente me olvide de mencionar a alguien.

En primer lugar quisiera agradecer a mi equipo sus desvelos, por aguantarme con paciencia y darme los mejores consejos, haciendo realidad por fin este proyecto; estos son, mis padres y mis hermanas. Con especial mención a mi hermana Maria que me ha ayudado mucho en los “Momentos Primerán”, como ella los llama.

También agradecer a mis tutores, Gloria Guzmán Casado y Antonio J. Pujadas Salvá por su dedicación y atención durante tantos años y por sus enseñanzas.

Gracias a Norberto Recio y Manuel Recio, grandes maestros de la olivicultura ecológica y grandes personas, por responder a todas mis preguntas durante tantos años.

Gracias a mis antiguos compañeros de trabajo del CIFAED, Meli, Lara, Yiyi, Laura, Eva, Juan, Isa, Joaqui, Dani, Rodri, Borja, Juanma, Andrés, Loly, Juanlu y Antonio por ayudarme con la interminable toma de muestras.

Gracias a mis amig@s Maty, Mayte, Virtu y Gabi, por no dejarme caer en el desánimo y estar siempre a mi lado con una palabra amable. También a mis amigos del Máster de Agroecología 2007 por contagiarme su fuerza, su ilusión y su alegría para seguir adelante.

Gracias a Roberto García Ruiz, Juan Castro, Roberto García Trujillo, Mercedes Campos, Juan Francisco Herencia, José Antonio Caballero, entre otros expertos a quienes respeto por su profesionalidad y saber hacer, y por ayudarme a entender y solucionar muchas cuestiones.

Finalmente, agradecer especialmente a l@s agricultur@s con los que he compartido experiencias, comidas y conversaciones maravillosas. Por haberme acogido en sus pueblos y casas, por darme trabajo, por confiar en mí.

RESUMEN

El propósito general del estudio es profundizar en el conocimiento de las bases ecológicas que permitan seleccionar las prácticas más sostenibles para el olivar ecológico, contribuyendo a diseñar una propuesta agroecológica, en su dimensión técnico-agronómica, para el cultivo del olivar en Andalucía, por la evidente importancia que este cultivo tiene en esta Comunidad Autónoma a nivel social, ambiental y económico. La presente investigación a nivel predial, mantiene durante su desarrollo un enfoque multidimensional y multidisciplinar, dirigido principalmente al estudio de las cubiertas vegetales (natural o sembrada) en el olivar ecológico como alternativa de manejo frente a los olivares con suelo desnudo. Durante el proceso se establecen las bases para entender el funcionamiento del sistema suelo-planta de acuerdo con un nuevo grupo de procesos ecológicos en un proceso de transición agroecológica. Asimismo, la acumulación sistemática y sistémica de información sobre el olivar de estudio, sin perder de vista la relación con los sistemas que le rodean, permite profundizar en el conocimiento del objeto de estudio de manera que se pueda integrar esta información al diseño de estrategias de actuación en las distintas perspectivas y dimensiones de la investigación agroecológica.

En relación al proceso de transición agroecológica, estudios previos revelan la falta de información por parte de los agricultores en relación al manejo de cubiertas vegetales en olivares ecológicos, concretamente sobre el tipo de cubierta a implantar y su control. Asimismo, estudios de coste/beneficio y de impacto ambiental, apuntan a que el uso de cubiertas vegetales en el olivar conlleva un beneficio ambiental y económico. Por un lado, al limitar la erosión, maximizar la captura de CO₂ y mantener la calidad de suelo y del agua. Por otro lado, al limitar los pasos de labranza para el control de la vegetación herbácea y contribuir a cerrar el ciclo de materiales y energía, por ejemplo, a través de la producción de pastos.

La metodología empleada se basa en la acumulación de información primaria en relación al funcionamiento básico del olivar partiendo del estudio de las cubiertas vegetales. Se ensayan durante seis años distintas cubiertas (sembradas y espontáneas) y manejos (laboreo superficial y desbrozado). La complementariedad de la información que se obtiene de la flora de las cubiertas, a nivel taxonómico y funcional, junto a la gran cantidad de datos registrados, le confieren un gran poder descriptivo, explicativo y predictivo al estudio. Para poder discernir si los cambios observados a nivel funcional son deseables para el olivar, los indicadores a nivel florístico son contrastados con otros indicadores que ponen de manifiesto el impacto que cada tratamiento tiene sobre procesos básicos del agroecosistema como el ciclo de nutrientes, el balance hídrico, la fertilidad del suelo y el rendimiento del olivo.

Los resultados muestran que el tipo de cubierta y manejo del suelo ensayado determina en gran medida la tipología de las comunidades vegetales que forman la cubierta, lo que a su vez tiene implicaciones sobre la distinta funcionalidad de las cubiertas dentro del olivar y los servicios ecosistémicos generales que son capaces de proveer. El distinto comportamiento de las cubiertas en función de las condiciones de manejo, permite diseñar múltiples estrategias para el manejo de la biodiversidad dentro del olivar en beneficio del cultivo y su sostenibilidad a largo plazo.

ABSTRACT

The general purpose of this study is to delve into the knowledge of the organic bases that allow the selection of the most sustainable practices for the organic olive grove. The current study contributes to the design of an agroecological proposal in its agronomical and technical dimension, for the olive grove cultivation in Andalucía (Spain). This becomes of interest due to the high importance of this crop in this region at the social, environmental, and economical level. The current research is performed at predial level. It follows a constant multidimensional and multidisciplinary focus, mainly directed towards the evaluation of the vegetated soil (natural or cover crop) in the organic olive grove as a management alternative to the bare soil. During the process, the bases to understand the soil-plant system functioning are settled according to a new group of organic processes that happen within an agroecological transition process. Likewise, the systematic and systemic accumulation of information about the study olive grove, keeping in mind the relationship with the surrounding systems, allows a better understanding of the study object. Therefore this information can be integrated in the design of action strategies in the different perspectives and dimensions of the agroecological research.

Regarding the process of agroecological transition, previous studies disclose the lack of information from farmers regarding the management of the vegetated soil in organic olive groves, specifically regarding the type of cover and its control. Furthermore, cost-benefit and environmental impact studies suggest that the use of vegetated covers in the olive grove entails an environmental and economic benefit. On one hand, it limits the erosion, maximizes the intake of CO₂, and keeps the ground and water quality. On the other hand, it limits the number of times of ploughing to control the herbaceous vegetation and contributes to closing the material and energetic cycle, for example through the production of pastures.

The methodology used in this study consists of the collection of primary information regarding the basic functioning of the olive grove through the study of the vegetated covers. Different land covers are analyzed during six years (cultivated and spontaneous) and managements (shallow tillage or mowing). The complementarity of the collected information of the covers' flora at the taxonomical and functional level and the great amount of registered data provide a large descriptive, explicative and predictive value to the study. To disentangle whether the observed changes at the functional level are desirable for the olive grove, the floristic indicators are compared with other indicators that bring to light the impact of each treatment on the basic processes of the agroecosystem, such as the nutrients cycle, the hydric cycle, the fertility of the ground, and the olive tree performance.

The results show that the type of cover and the management of the ground tested determine the typology of the vegetal communities that are part of the cover in a great extent. At the same time, the results reveal that this has implications on the different functionality of the covers in the olive grove and on the general ecosystemic services that they are able to provide. The different behavior of the covers as a function of the management conditions allows the design of multiple strategies to manage the biodiversity in the olive grove for the benefit of the crop and its sustainability in the long-term.

ÍNDICE GENERAL

Prólogo	12
Índice de Figuras	13
Índice de Tablas	15
Índice de Gráficos	19
Glosario de Abreviaturas	22
 PRIMERA PARTE: INTRODUCCIÓN AL OBJETO DE ESTUDIO Y SU PROBLEMÁTICA	 24
 SITUACIÓN ACTUAL DEL OLIVAR ECOLÓGICO	 27
LA AGRICULTURA ECOLÓGICA	27
EL OLIVAR ECOLÓGICO	32
EL MERCADO Y LA DEMANDA DE ACEITE DE OLIVA ECOLÓGICO	36
 LA SOSTENIBILIDAD COMO CRITERIO AGROECOLÓGICO DE ANÁLISIS	 42
EL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD	42
PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN AGROECOLÓGICA	45
PROPUESTA AGROECOLÓGICA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL OLIVAR	47
 EL AGROECOSISTEMA OLIVAR: ESTRUCTURA Y FUNCIÓN	 60
COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL OLIVAR	60
FUNCIONAMIENTO DEL AGROECOSISTEMA OLIVAR	72
 LAS CUBIERTAS VEGETALES EN LOS CULTIVOS LEÑOSOS MEDITERRÁNEOS	 84
LA EROSIÓN: PÉRDIDA DE SUELO Y ESCORRENTÍA	85
REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	90
PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS	91
CONTROL DE HIERBAS, PLAGAS Y ENFERMEDADES	100
TIPOS DE CUBIERTAS VEGETALES	104
MANEJO DE LAS CUBIERTAS VEGETALES	111
 BIBLIOGRAFÍA	 117
 OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO	 141
 SEGUNDA PARTE: ESTUDIO DE CASO	 142
 LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL OLIVAR DE ENSAYO. DISEÑO EXPERIMENTAL	 142
CARACTERIZACIÓN Y ANTECEDENTES DE LA PARCELA	147
DISEÑO EXPERIMENTAL	151
BIBLIOGRAFÍA	154
 CAPÍTULO 1: EVOLUCIÓN DE LAS COMUNIDADES ARVENSES. DIVERSIDAD FUNCIONAL	 156
OBJETIVOS	157
METODOLOGÍA	157
RESULTADOS	169
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	234
CONCLUSIONES	250

BIBLIOGRAFÍA	253
CAPÍTULO 2: EL AGUA EN EL SUELO DEL OLIVAR	257
OBJETIVOS	258
METODOLOGÍA	258
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	265
CONCLUSIONES	305
BIBLIOGRAFÍA	307
CAPÍTULO 3: PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO. FERTILIDAD Y NITRÓGENO	311
OBJETIVOS	312
METODOLOGÍA	312
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	314
CONCLUSIONES	331
BIBLIOGRAFÍA	332
CAPÍTULO 4: PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO	335
METODOLOGÍA	336
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	339
CONCLUSIONES	352
BIBLIOGRAFÍA	354
INTERPRETACIÓN GLOBAL	356
CONCLUSIONES GENERALES	360
ANEXOS	361

Prólogo

Disfrutar con ilusión de hacer lo que a uno le gusta es la manera en que se logra acometer un estudio de este tipo. Este gran esfuerzo se ve recompensado por el convencimiento de que, lo aquí expuesto, será útil a los agricultores, técnicos o a cualquier otra persona interesada.

El camino recorrido hasta llegar a este punto comienza con mis trabajos como técnico en varias cooperativas de fruta en Lleida y Huesca a partir de 1996, donde aprendí a respetar y a escuchar a los campesinos, a enamorarme de su modo de vida, lo que a su vez me llevó a prestar atención a otros modos de entender la agricultura (bastante distintos a lo que por aquel entonces se enseñaba en la Universidad). Más tarde, mi profesor de Antropología Rural en la Universidad de Lleida, Víctor Bretón, me abrió los ojos a un mundo nuevo y apasionante. A raíz de aquello descubrí qué era la Agroecología, y decidí realizar mi Trabajo Final de Carrera en Andalucía (Programa Séneca), donde sin lugar a dudas podría aprender todo lo necesario. Cuando llegué a la Universidad de Córdoba, en 2002, conocí por fin a Eduardo Sevilla, y qué decir, me cautivó su clarividencia y su pasión. A partir de sus clases y gracias a sus consejos empecé a formarme como experto en Agricultura y Ganadería Ecológica en la Universidad Internacional de Andalucía, donde Gloria Guzmán me propuso iniciar mi TFC en relación al estudio de las cubiertas vegetales y la integración del ganado ovino en el olivar ecológico en dos municipios de Granada (Castril de la Peña y Deifontes). Los datos recogidos para mi TFC durante la campaña 2003-2004, se convertirían más tarde en los primeros resultados de la Tesis Doctoral que se presenta en este documento. La campaña siguiente (2004-2005) este estudio tuvo continuidad en el mismo olivar en Deifontes gracias a la participación de M^{ra} José Lorite, también con su Trabajo Final de Carrera. El tercer año, a través del proyecto Diagnóstico del Olivar Ecológico “Convenio específico de colaboración entre la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía y el Consorcio Centro de Investigación y Formación de Agricultura Ecológica y Desarrollo Rural de Granada para el diagnóstico sectorial en el desarrollo del nuevo Plan Andaluz de Agricultura Ecológica” retomo de nuevo el estudio en el olivar de Deifontes hasta la finalización del mismo (2008-2009). En 2007 realizo el Máster en Agroecología en la UNIA con la intención de convertir el estudio del olivar en mi futura Tesis Doctoral. En 2007 el presente estudio también forma parte del Proyecto Estrella del Olivar Ecológico, en el que colaboran en el mismo olivar de Deifontes varios grupos de investigación de Andalucía, especialistas en diversas disciplinas (edafología, fertilización, microbiología, entomología) y cuyos resultados se publican en el libro *El Olivar Ecológico* (2011). En enero de 2010 se realiza el último muestreo en campo, cuando por desgracia el centro de investigación ya ha cerrado.

En último lugar, destacar que durante todo el proceso se han estado divulgando parte de los resultados del presente estudio, en jornadas, congresos, libros, manuales, informes, talleres, cursos, se han incorporado en encuestas, entrevistas y discusiones de grupo. Nada de lo que aquí se expone tendría sentido si no se inserta en esta estrategia global, que anima al investigador y a los agricultores a implicarse personalmente en el proceso, pudiendo intercambiar conocimientos entre ambos con un alto grado de empatía.

Índice de Figuras

Figura I.1. Evolución de la superficie de Agricultura Ecológica (has) en Europa y en el mundo	22
Figura I.2. Crecimiento del mercado global de alimentos ecológicos (Millones de \$ USA)	23
Figura I.3. Evolución de la superficie de Agricultura Ecológica en España, Andalucía y Granada	23
Figura I.4. Superficie inscrita en Agricultura Ecológica (has) por CCAA	23
Figura I.5. Evolución de la superficie total inscrita en Agricultura Ecológica (has) por provincias	24
Figura I.6. Mercado Europeo de alimentos ecológicos: países con mayor consumo en 2010 (€/persona)	25
Figura I.7. Número de productores en Agricultura Ecológica por CCAA	26
Figura I.8. Número de elaboradores en Agricultura Ecológica por CCAA	26
Figura I.9. Nº de productores en Agricultura Ecológica por provincias	27
Figura I.10. Nº de elaboradores en Agricultura Ecológica por provincias	27
Figura I.11. Evolución de la superficie de olivar ecológico en el mundo (has)	28
Figura I.12. Evolución de la superficie de olivar ecológico en los principales países productores (has)	28
Figura I.13. Evolución de la superficie de olivar ecológico en las principales CCAA productoras (has)	29
Figura I.14. Evolución de la superficie de Olivar Ecológico (has) por provincias	30
Figura I.15. Número de Almazaras y/o Envasadoras de Aceite por provincias	31
Figura I.16. Aceite ecológico comercializado (t). Asociación CAAE 2010 y 2011	32
Figura I.17. Destino del aceite ecológico (t). Asociación CAAE 2010 y 2011	32
Figura I.18. Ventas de aceite envasado (t). Asociación CAAE 2010 y 2011	32
Figura I.19. Ventas de aceite a granel (t). Asociación CAAE 2010 y 2011	32
Figura II.1. Integración gráfica de los indicadores de sostenibilidad en el olivar ecológico y convencional de Los Pedroches	43
Figura III.1. Dinámica ecológica en agroecosistemas diversificados	57
Figura III.2. Ordenación de los agrosistemas en la provincia de Córdoba, con base al tipo de flora presente	60
Figura III.3. Productividad primaria neta de olivares ecológicos y convencionales de Andalucía	68
Figura III.4. Energía no renovable media consumida en distintos olivares con distinto manejo (GJ/ha)	68
Figura III.5. Movimientos de agua protagonistas en cada época del año y sincronía con la evolución fenológica del olivo y de la cubierta vegetal	74
Figura 1.1. Curva área/especies para la determinación del área mínima de muestreo	153
Figura 1.2. Evolución de la densidad de individuos (2004-2009) en abril según tratamiento	169

Figura 1.3. Abundancia relativa familiar individual en las cubiertas sembradas y labradas (VI) el quinto y sexto año de ensayo en abril y junio	184
Figura 1.4 Abundancia relativa familiar individual de las cubiertas desbrozadas el quinto y sexto año de ensayo en el mes de junio	185
Figura 1.5. Gráficos de componentes principales de los conglomerados (grupos funcionales*año y tratamiento) según los caracteres funcionales clave evaluados	201
Figura 1.6. Clasificación de grupos funcionales	202
Figura 1.7. Evolución de la Frecuencia y de la Densidad del grupo Gramíneas (2004-2009)	207
Figura 1.8. Evolución de la Abundancia relativa y absoluta del grupo Perennizantes (2004-2009)	209
Figura 1.9. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Veza sembrada (2004-2009)	211
Figura 1.10. Evolución de la Frecuencia y Abundancia relativa del grupo Competitivas (2004-2009)	212
Figura 1.11. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Flor de invierno de 2004 a 2009	214
Figura 1.12. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Fijadoras rastreras de 2004 a 2009	215
Figura 1.13. Evolución de la Abundancia relativa y absoluta del grupo Ruderal seco (2004-2009)	217
Figura 1.14. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Flor tardía (2004-2009)	219
Figura 1.15. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Escionitrófilas (2004-2009)	220
Figura 1.16. Evolución de la Abundancia relativa y absoluta del grupo Esciófilas evitadoras de 2004 a 2009	221
Figura 1.17. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Pequeñas pratenses de 2004 a 2009	223
Figura 1.18. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Margaritas (2004-2009)	225
Figura 1.19. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Ruderal vernal (2004-2009)	226
Figura 1.20. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Flor temprana (2004-2009)	228
Figura 1.21. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel funcional (abril)	230
Figura 2.1. Precipitación durante los años de ensayo en la Estación Meteorológica de Iznalloz	258
Figura 2.2. Climodiagrama de Walter-Lieth para los años agrícolas 2003-2009.Periodos secos	260
Figura 2.3. Climodiagrama de Walter-Lieth para los años agrícolas 2003-2009. Periodos subsecos	261
Figura 2.4. Precipitación ocurrida y humedad del suelo de 0 a 50 cm de profundidad según el tratamiento ensayado durante la serie de años de estudio (2004-2009)	264
Figura 2.5. Evolución del contenido de agua en el suelo en los 50 primeros centímetros	267
Figura 2.6. Evapotranspiración del cultivo y de las cubiertas ensayadas de 2004 a 2009	271
Figura 2.7. Necesidades de agua (Evapotranspiración) de las distintas cubiertas, humedad del suelo según tratamiento y precipitación de 2003 a 2009	303

Índice de Tablas

Tabla I.1. Magnitudes del olivar ecológico en las principales CCAA productoras (2011)	29
Tabla I.2. Estudios sobre el diferencial de precio entre AOVEC y AOVEE	34
Tabla I.3. Canales minoristas especializados	35
Tabla II.1. Sistematización sociológica de los métodos y técnicas de la Agroecología según las perspectivas de la investigación	41
Tabla II.2. Resultados de los estudios realizados sobre la sostenibilidad del olivar ecológico y convencional en la comarca de Los Pedroches (Córdoba)	44
Tabla II.3. Resultados socioeconómicos de ocho olivares ecológicos y convencionales en	50
Tabla III.1. Funcionamiento energético medio de los olivares convencionales y ecológicos de secano de Granada	69
Tabla III.2. Dinámica de nutrientes en el olivar	70
Tabla III.3. Movimientos de agua en el olivar	74
Tabla IV.1. Técnicas para la conservación del agua y del suelo	81
Tabla IV.2. Valores de escorrentía y pérdida de suelo y su correlación con la longitud de la ladera (L) la pendiente (S), la combinación de longitud y pendiente (LS) e intervalo de precipitación (P) para distintos usos del suelo en el Mediterráneo	83
Tabla IV.3. Pérdidas de suelo (Mg/ha y año) en cultivos leñosos en Andalucía y España en función del manejo del suelo y del tipo de cubierta vegetal	84
Tabla IV.4. Indicadores orientativos para evaluar la madurez de una cubierta vegetal natural	106
Tabla 0.1. Datos climáticos medios de Deifontes	137
Tabla 0.2. Datos climáticos registrados para la zona de estudio durante la serie de seis años de experimentación en campo de 2003 a 2009	138
Tabla 0.3. Propiedades físico-químicas del suelo antes del inicio del ensayo en otoño de 2003	143
Tabla 0.4. Calendario de labores realizadas en el olivar de estudio de 2003 a 2009	147
Tabla 0.5. Calendario y aspectos técnicos relacionados con la labor de siembra de cubiertas vegetales ensayadas de 2003 hasta 2009	148
Tabla 1.1. Calendario de muestreo de la flora de las cubiertas vegetales de 2004 a 2009	153
Tabla 1.2. Indicadores usados para evaluar la composición y estructura florística y funcional	153
Tabla 1.3. Códigos de las propiedades ecosistémicas relacionadas con los rasgos utilizados	157
Tabla 1.4. Definición de variables/rasgos utilizados en el análisis multivariable para la identificación de grupos funcionales	158
Tabla 1.5. Especies acompañantes	164
Tabla 1.6. Familias y especies presentes en todas las cubiertas	165
Tabla 1.7. Familias y especies muy poco frecuentes de 2003 a 2009 en el mes de abril	165
Tabla 1.8. Especies ausentes durante el ensayo según tratamiento	166
Tabla 1.9. Clasificación de las especies más abundantes, AB (%) al inicio y al final del ensayo antes del primer y segundo control de las cubiertas	168

Tabla 1.10. Diferencias en la composición y estructura familiar entre tratamientos de 2004-2009 en abril, y de 2007 a 2009 en el mes de junio	179
Tabla 1.11. Valores medios y diferencias entre tratamientos para la Abundancia (AB) , Frecuencia (FR) y Densidad (DE) de las especies más importantes	180
Tabla 1.12. Esquematización de las tendencias significativas diferenciales entre tratamientos para los taxones más importantes y los indicadores ABi, ABe, FR, DE, NºGE y NºSP (2004-2009)	181
Tabla 1.13. Especies importantes según tratamiento (AB≥1% Y FR≥50%)	186
Tabla 1.14. Diferencias anuales entre tratamientos para la estructura familiar individual antes del segundo control de las cubiertas vegetales	187
Tabla 1.15. Composición y estructura florística a nivel de biotipo en abril (2004-2009)	188
Tabla 1.16. Esquematización de las tendencias significativas al alza o a la baja a nivel de biotipos de 2004 a 2009	188
Tabla 1.17. Composición y estructura florística a nivel de biotipo en junio (2004-2009)	190
Tabla 1.18. Diferencias entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipo de 2004 a 2009	191
Tabla 1.19. Esquematización de las tendencias significativas diferenciales al alza o a la baja para los indicadores de riqueza y diversidad florística entre tratamientos de 2004 a 2009	192
Tabla 1.20. Grupos funcionales identificados por tratamiento y año y clasificación resultante de su análisis conjunto (en columnas)	200
Tabla 1.21. Caracterización de grupos funcionales	203
Tabla 1.22. Diferencias en la composición funcional entre las distintas cubiertas ensayadas de 2004 a 2009 en el mes de abril	204
Tabla 1.23. Tendencias diferenciales, al alza (+) o a la baja (-) en la composición funcional de las distintas cubiertas de 2004 a 2009 en abril	205
Tabla 1.24. Diferencias en la estructura y diversidad funcional entre las distintas cubiertas ensayadas para el conjunto de años de estudio ('03-'09) en el mes de abril	229
Tabla 1.25. Esquematización de las tendencias significativas diferenciales, al alza (+) o a la baja (-) para los indicadores de estructura y diversidad funcional (2003-2009)	229
Tabla 1.26. Relaciones entre tipos concretos para cada nivel de análisis en los que aparecen diferencias significativas entre tratamientos y tendencias diferenciales al alza de 2004 a 2009	238
Tabla 2.1. Calendario de muestreo del contenido de agua en el suelo de 2004 a 2009	257
Tabla 2.2. Agua aprovechable por el cultivo según textura (% de suelo seco)	258
Tabla 2.3. Variables relacionadas con el contenido de humedad en el suelo	259
Tabla 2.4. Humedad del suelo (%) entre calles a distinta profundidad según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009 para cada fecha de muestreo	265
Tabla 2.5. Contenido de agua en el suelo (%) aprovechable por el olivar	266
Tabla 2.6. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de	278
Tabla 2.7. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes	278
Tabla 2.8. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción mes*año	279
Tabla 2.9. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de muestreo de 2006 a 2009	280

Tabla 2.10. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tto*mes ('06-'09)	280
Tabla 2.11. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de muestreo (2006 a 2008)	281
Tabla 2.12. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tto*mes ('06-'08)	281
Tabla 2.13. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de muestreo (2005 a 2009)	283
Tabla 2.14. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes a distintas profundidades (2005 a 2009)	283
Tabla 2.15. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción mes*año	284
Tabla 2.16. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos y meses de muestreo (2005 a 2008)	285
Tabla 2.17. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes a distintas profundidades (2005 y 2008)	286
Tabla 2.18. Tabla de correlaciones bivariadas entre la humedad del suelo y las variables independientes para los primeros 25 centímetros de profundidad	289
Tabla 2.19. Tabla de correlaciones bivariadas entre la humedad del suelo y las variables independientes de 25 a 50 centímetros de profundidad	290
Tabla 2.20. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	292
Tabla 2.21. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEANT, AGUACCAR, TAMAARVANT, MATSECAN, PENDIENTE, ASTERANTE	292
Tabla 2.22. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	293
Tabla 2.23. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEANT, ARCILLA, DENSIPLAANT	293
Tabla 2.24. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	293
Tabla 2.25. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEANT, AGUACCAR, RIQUESPAN, DÍASMARZO	294
Tabla 2.26. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	295
Tabla 2.27. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEDES, ICTOTDESP	295
Tabla 2.28. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	296
Tabla 2.29. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: SHANONANT, ASTERANTE	296
Tabla 2.30. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	297
Tabla 2.31. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ASTERDESP, ICTOTDESP	297
Tabla 2.32. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	298
Tabla 2.33. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEDES	298
Tabla 2.34. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables	298
Tabla 2.35. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: RIQUESPDES	299

Tabla 3.1. Calendario de muestreo para el análisis físico-químico del suelo	312
Tabla 3.2. Calendario de muestreo para la determinación de formas de nitrógeno	313
Tabla 3.3. Parámetros físico-químicos del suelo por tratamiento y fecha de muestreo	317
Tabla 3.4. Parámetros físico-químicos del suelo por tratamiento y profundidad en 2009	318
Tabla 3.5. Valores medios de densidad aparente del suelo (Mg/m^3) para las cubiertas ensayadas a distintas profundidades	319
Tabla 3.6. Contenido de amonio y nitratos en el suelo ($\mu\text{g N-NO}_3^- \text{ g}^{-1}$ y $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$)	321
Tabla 3.7. Porcentaje de Carbono y Nitrógeno contenido en las distintas fracciones de la cubierta antes del primer y segundo control de la cubierta en 2007	325
Tabla 3.8. Contenido medio de nutrientes en las distintas cubiertas ensayadas (% p/p)	326
Tabla 3.9. Contenido medio de nutrientes (% p/p) en las distintas cubiertas ensayadas antes del primer y segundo control de 2004 a 2009	328
Tabla 3.10. Valor fertilizante anual medio de las distintas cubiertas ensayadas antes del primer y segundo control (Kg de N/ha)	329
Tabla 3.11. Valor fertilizante medio de las cubiertas ensayadas (Kg de N/ha)	331
Tabla 4.1. Calendario de muestreo de la biomasa producida por las cubiertas vegetales antes del primer y segundo control de las cubiertas	336
Tabla 4.2. Valores del Índice de cobertura	337
Tabla 4.3. Calendario de muestreo del Índice de cobertura de 2003 a 2009.	337
Tabla 4.4. Calendario de muestreo de la producción de aceituna del olivar	338
Tabla 4.5. Producción anual media de biomasa (Kg/ha) de las distintas fracciones vegetales que forman cada cubierta antes del primer control (abril)	339
Tabla 4.6. Valores medios de materia fresca y materia seca (Kg/ha) para cada fracción vegetal de 2004 a 2009 antes del primer control de la cubierta (abril)	340
Tabla 4.7. Producción media anual de biomasa (Kg/ha) de las distintas fracciones vegetales que forman cada cubierta antes del segundo control (junio)	344
Tabla 4.8. Materia fresca y seca (Kg/ha) para cada fracción vegetal de 2004 a 2009 antes del segundo control de la cubierta (junio)	344
Tabla 4.9. Valores medios de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) de 2003 a 2009	349
Tabla 4.10. Rendimiento anual medio del olivar de 2004 (AÑO 1) a 2009 (AÑO 6)	352

Índice de Gráficos

Gráficos 2003-2004. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales	194
Gráficos 2004-2005. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales	195
Gráficos 2005-2006. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales	196
Gráficos 2006-2007. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales	197
Gráficos 2007-2008. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales	198
Gráficos 2008-2009. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales	199
Gráficos 2.1 y 2.2: Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2004	268
Gráficos 2.3 y 2.4: Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2005	268
Gráficos 2.5 y 2.6: Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2006	268
Gráfico 2.7 y 2.8. Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2007	269
Gráfico 2.9 y 2.10. Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2008	269
Gráfico 2.11 y 2.12. Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2009	270
Gráficos 2.13 y 2.14. Evolución de la interacción tratamiento*mes los tres últimos años de ensayo a dos profundidades distintas	270
Gráfico 2.15. Evolución de la humedad del suelo a través de los seis años de estudio a dos profundidades distintas	272
Gráfico 2.16. Evolución de la humedad del suelo de 2004 a 2009 de 25 a 50 centímetros	272
Gráfico 2.17. Evolución de la humedad del suelo por mes de estudio de 2004 a 2009 a dos profundidades distintas	273
Gráfico 2.18 y 2.19. Evolución de la humedad del suelo de 0 a 50 cm (2004 a 2009)	273
Gráfico 2.20. Humedad en el suelo de 25 a 50 cm en el mes de marzo (2004 a 2009)	274
Gráfico 2.21. Precipitación registrada en la Estación Meteorológica de Iznalloz (1999- 2013)	274
Gráfico 2.22. Evolución de la humedad del suelo de 25 a 50 cm para el mes de abril ('04-'09)	276
Gráficos 2.23 y 2.24. Evolución de la humedad del suelo de 0 a 50 cm para el mes de mayo (2004-2009)	276
Gráfico 2.25. Evolución de la humedad del suelo de 25 a 50 cm para el mes de junio (2004-2009)	277
Gráfico 2.26. Evolución de la humedad del suelo de 2004 a 2009 de marzo a junio según el tratamiento ensayado	278

Gráfico 2.27. Evolución del contenido de humedad del suelo de marzo a junio para cada uno de los años de ensayo de 0 a 25 centímetros de profundidad	279
Gráfico 2.28. Evolución de la humedad del suelo de marzo a junio según el tratamiento ensayado de 2006 a 2009	281
Gráfico 2.29. Evolución de la humedad del suelo de 2006 a 2008 de marzo a junio según el tratamiento ensayado	282
Gráficos 2.30 y 2.31. Evolución de la humedad del suelo de 2005 a 2009 según el tratamiento y profundidad muestreada	284
Gráfico 2.32. Evolución de la humedad del suelo de 25 a 50 (2005 a 2009)	285
Gráfico 2.33 y 2.34. Evolución de la humedad del suelo de 2005 a 2008 según el tratamiento ensayado y a distinta profundidad	286
Gráfico 3.1. Cantidad de N disponible (nitrato + amonio) producido por mineralización/nitrificación neta en el suelo (10 cm) entre calle en la parcela de olivar ecológico (ECO) y de producción integrada (PI) en Deifontes	320
Gráfico 3.2 y 3.3. Contenido de nitratos en el suelo a distinta profundidad (2006-2008)	322
Gráfico 3.4. Contenido de amonio en el suelo de 0 a 5 centímetros de profundidad	322
Gráficos 3.5 y 3.6. C de la biomasa microbiana (μg de Carbono/g suelo) en los diferentes tratamientos y a distintas profundidades en Primavera y Otoño de 2008	323
Gráfico 3.7 y 3.8. Actividades enzimáticas proteasa (μg tirosina/g suelo seco y hora) y deshidrogenasa (μg trifenilformazan/ g suelo seco) según tratamiento y a distinta	323
Gráfico 3.9, 3.10. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el contenido de cenizas (% p/p) y fibra bruta (% p/p) según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009	327
Gráfico 3.11, 3.12. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el contenido de calcio (% p/p) y fósforo (% p/p) según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009	327
Gráfico 3.13, 3.14. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el contenido de grasa (% p/p) y proteína bruta (% p/p) según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009	328
Gráfico 3.15. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el valor fertilizante (Kg de N/ha) de las distintas cubiertas de 2004 a 2009 antes del primer control de la cubierta	330
Gráfico 3.16. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el valor fertilizante (Kg N/ha) de las distintas cubiertas de 2004 a 2009 antes del segundo control de la cubierta	330
Gráfico 4.1. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en el mes de abril	341
Gráfico 4.2. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca de veza producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en el mes de	341
Gráfico 4.3. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca de adventicias producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en	343
Gráfico 4.4. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca de adventicias producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en	345
Gráfico 4.5. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2004-2005	346
Gráfico 4.6. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2006-2007	346

Gráfico 4.7. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2007-2008	347
Gráfico 4.8. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2008-2009	348
Gráfico 4.9. Evolución del porcentaje de cobertura total a través de la interacción tratamiento*mes de 2003 a 2009	350
Gráfico 4.10. Evolución del porcentaje de cobertura verde a través de la interacción tratamiento*mes de 2003 a 2009	350
Gráfico 4.11. Evolución del porcentaje de cobertura verde a través de la interacción tratamiento*mes de 2003 a 2009	351
Gráfico 4.12. Evolución del rendimiento del olivar para cada tratamiento de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6)	352

Glosario de Abreviaturas

AB: Abundancia	DBCA: Diseño en Bloques Completamente Aleatorizados
ABe: Abundancia relativa familiar específica	DE: Abundancia absoluta (individuos/m ²)
ABi: Abundancia relativa familiar individual	DIPLV: <i>Diplotaxis virgata</i>
ACCPP: Análisis de Componentes Principales	DISNEC: Disponibilidad de néctar
ALYSS: <i>Alyssum simplex</i>	DISPOL: Disponibilidad de polen
ANDRI: <i>Andryala integrifolia</i>	EC: Entre calles
ANOVA: Análisis de la varianza	EN: Enemigos naturales
ANTH(A): <i>Anthemis arvensis</i>	ERODC: <i>Erodium cicutarium</i>
APIA: Apiáceas	ESCRO: Escrofulariáceas
AREN(S): <i>Arenaria serpyllifolia</i>	ESTFENOL: Estado fenológico
ASTER: Asteráceas	ET: Evapotranspiración
ASTRS: <i>Astragalus stella</i>	EUFOR: Euforbiáceas
AVEN(S): <i>Avena sterilis</i>	EVITA: Evitación
BC: Bajo copa	FIJAN: Fijación de Nitrógeno
BORAG: Boragináceas	FR: Frecuencia relativa
BRO(M)D: <i>Bromus diandrus</i>	FUMA(R): Fumariáceas
BRO(M)M: <i>Bromus matritensis</i>	G: Geófito
CALEA: <i>Calendula arvensis</i>	GERA(N): Geraniáceas
CAPS(B): <i>Capsella bursa-pastoris</i>	GF: Grupo funcional
CARIO: Criofiláceas	GRAM(I): Gramíneas
CC: Capacidad de Campo	H/G. E: Hemicriptófito/Geófito erecto
CENTS: <i>Centaurea solstitialis</i>	H/G.RA: Hemicriptófito/Geófito rastrero
CIC: Coeficiente de intercambio catiónico	H/G.RO: Hemicriptófito/Geófito rosulado
CONV(O): Convolvuláceas	H' máx.: Diversidad máxima
CONVA: <i>Convolvulus arvensis</i>	H': Índice de Diversidad de Shannon
CORO(S): <i>Coronilla scorpioides</i>	HIRSCH: <i>Hirschfeldia incana</i>
CREPF: <i>Crepis foetida</i>	HOLO(U): <i>Holosteum umbellatum</i>
CREPV: <i>Crepis vesicaria</i>	HORD(M): <i>Hordeum murinum</i>
CRUCI: Crucíferas	ICS: Índice de cobertura seca
	ICT: Índice de cobertura total

ICV: Índice de cobertura verde	POLIG: Poligonáceas
INICFLOR: Inicio de la floración	PRODUC: Productividad
INICGER: Inicio de la germinación	PROFRAI: Profundidad de la raíz
J: Índice de Equidad de Pielou	R: Rasgo funcional
LACTS: <i>Lactuca serriola</i>	REGEN: Regeneración
LAMIA: <i>Lamium amplexicaule</i>	RESED: Resedáceas
LEGU(M): Leguminosas	RUBIA: Rubiáceas
LEGUS(I): Leguminosas silvestres	SENE(V): <i>Senecio vulgaris</i>
LEONT: <i>Leontodon longirostris</i>	SONC(O): <i>Sonchus oleraceus</i>
LOLI(R): <i>Lolium rigidum</i>	STE(L)M: <i>Stellaria media</i>
LSD: Less significant difference	T.C: Terófito cespitoso
MALVA: Malváceas	T.ER: Terófito erecto
MED(I)M: <i>Medicago minima</i>	T.RA: Terófito rastrero
MED(I)P: <i>Medicago polymorpha</i>	T.RO: Terófito rosulado
MF: Materia fresca	T.TR: Terófito trepador
MFL: Materia fresca de leguminosas	T/H. RO: Terófito/Hemicriptófito rosulado
MFR: Materia fresca de adventicias	T/H.C: Terófito/Hemicriptófito cespitoso
MFT: Materia fresca total	T/H.ER: Terófito/Hemicriptófito erecto
MFV: Materia fresca de veza	T/H.RA: Terófito/Hemicriptófito rastrero
MINU(H): <i>Minuartia hybrida</i>	TAMHOJ: Tamaño de la hoja
MO: Materia orgánica	TIPRAIZ: Tipo de raíz
MS: Materia seca	TRAT: Tratamiento
MSL: Materia seca de leguminosas	TRIFS: <i>Trifolium scabrum</i>
MSR: Materia seca de adventicias	TTO: Tratamiento
MST: Materia seca total	UROSP: <i>Urospermum picroides</i>
MSV: Materia seca de veza	VER(O)H: <i>Veronica hederifolia</i>
Nº GE: Número de géneros	VER(O)P: <i>Veronica polita</i>
Nº SP: Número de especies.	VI: Cubierta de veza incorporada con cultivador
OCA: Oficina Comarcal Agraria	VICIS: <i>Vicia sativa</i>
PAPA(V): Papaveráceas	VS: Cubierta de veza desbrozada
PAPAR: <i>Papaver roheas</i>	α : Nivel de significación
PMP: Punto de marchitez permanente	

PRIMERA PARTE: INTRODUCCIÓN AL OBJETO DE ESTUDIO Y SU PROBLEMÁTICA

El cultivo del olivar tiene una gran importancia en la Europa Mediterránea y concretamente en Andalucía, donde ocupa 1.541.980 hectáreas (34% de la SAU) (CAP, 2012). La producción de aceite y aceituna de mesa, supone un 26,5% de la Producción vegetal de Andalucía (CAP, 2012), y en torno al 3% del PIB total de esta Comunidad Autónoma (Guzmán Álvarez *et al.*, 2009). Asimismo, se estima que el olivar de Andalucía emplea en torno al 40% de la mano de obra de todo el sector agrícola y ganadero (INE, 2009). La problemática del olivar no afecta solo a los productores, sino al principal motor de generación de riqueza y empleo en muy amplias comarcas del medio rural andaluz (Barea & Ruiz, 2009). Además de la importancia agronómica y socioeconómica de este cultivo, es indiscutible, por su gran extensión territorial, el impacto que tiene sobre el medioambiente y el paisaje. La entrada de España en la Unión Europea supuso la modernización del olivar tanto a nivel productivo, transformador (almazaras, envasadoras) como comercial (Sánchez *et al.*, 2011). El olivar se desarrolló durante años gracias al buen precio del aceite y de la aceituna y unos costes asequibles. No obstante, en los últimos años esta tendencia positiva se estanca y se reduce la rentabilidad del cultivo, debido a los altos costes de la mano de obra, a la bajada de los precios en origen, al aumento de la oferta unido al leve incremento del consumo, a la inestabilidad en las producciones y al contexto socioeconómico y político. El coste de producción del aceite de oliva es superior a los precios de venta de las últimas campañas (MARM, 2010d). Ante esta situación, a la que debe sumarse la falta de relevo generacional, los olivares menos productivos se encuentran en alto riesgo de abandono, y es evidente el impacto negativo que esto tiene en el entorno rural andaluz puesto que en 300 municipios de Andalucía la olivicultura sigue siendo la principal actividad económica, y de generación de empleo agrario (CAP, 2010). Una de las consecuencias de la despoblación de las zonas rurales es la degradación de los recursos naturales de los que se obtiene un aprovechamiento ya sea agrícola, ganadero o forestal, que a su vez repercute en una menor productividad y un mayor abandono.

En la última década se han sucedido diversas reformas de la Política Agraria Comunitaria integrando las ayudas directas al Régimen de Pago Único y condicionadas al cumplimiento de las buenas prácticas agrarias y medioambientales. En el nuevo marco de la PAC (2013-2020) desaparecerán las ayudas asociadas a la producción y se distribuirán bajo el criterio basado en el fomento de la provisión de bienes públicos por parte de la agricultura y su multifuncionalidad a nivel territorial (Arriaza *et al.*, 2008; Europa, 2012). Es importante destacar en el contexto de las políticas comunitarias la preocupación por la seguridad alimentaria, el cambio climático, el agua y el suelo, las energías renovables y la biodiversidad. La importancia del carácter multifuncional de la agricultura a nivel territorial ha sido puesta de manifiesto en las últimas reformas de la PAC, que ha ido incorporando una serie de instrumentos y medidas para su fomento en las zonas rurales. Este nuevo enfoque podría significar una justa remuneración a la olivicultura ecológica por los servicios prestados a la sociedad, como reducir las externalidades negativas a la vez que produce alimentos de alta calidad y dinamiza el desarrollo rural sostenible. El incremento constante que experimenta la superficie dedicada a la olivicultura ecológica, es indicador de su valor como alternativa viable al olivar convencional, aunque tal solo ocupaba un 3,1% en 2010, se encuentra presente en

429 municipios, por lo que tiene un gran potencial de crecimiento. Actualmente, la producción de aceite de oliva ecológico supone un sobreprecio que puede incrementar la renta del olivicultor y permitirle continuar con la actividad agraria (Alonso, 2011).

En cualquier caso, la problemática del olivar andaluz requiere soluciones que van más allá de la dimensión técnico-agronómica, ya que afectan también a la dimensión ambiental, socioeconómica, cultural e institucional, y deben ser diseñadas y planificadas con un enfoque macroscópico y globalizador. Al aumento de la productividad del olivar basada en la aplicación de los principios de la llamada “revolución verde” lo acompaña el crecimiento de los costes ecológicos y sociales (Naredo, 1983; García Brenes, 2006), y su máximo exponente en la actualidad son los olivares superintensivos, situados principalmente en campiñas fértiles. El potencial de la olivicultura ecológica como garantía de los servicios ambientales, caracterizada por un manejo menos intensivo, basado en el aumento de la biodiversidad, los principios ecológicos, funcionales y de sostenibilidad de las explotaciones y el territorio, toma fuerza cuando se analiza la tipología de los olivares en Andalucía, su historia y el actual marco institucional. La agricultura ecológica como herramienta que permite integrar las relaciones sociales junto a la conservación de los recursos naturales, implica el rediseño y transformación de la estructura y la función de los olivares. Esta transformación debe darse tanto a nivel técnico y predial, como sociocultural y político. Por todo ello, la visión integradora y sistémica que ofrece la agroecología asienta las bases para entender la agricultura, las relaciones sociales y los recursos naturales como un todo indivisible.

Para aumentar la funcionalidad de los olivares, éstos deben gestionarse de forma agroecológica, más allá de un manejo ecológico basado en la simple sustitución de insumos a nivel productivo. Dentro de un marco agroecológico y funcional, el olivar debe estar provisto de ciertas estructuras que permiten mantener la biodiversidad, conservar los recursos naturales y diversificar las actividades económicas. Entre otras prácticas de manejo características de la olivicultura ecológica, el empleo de las cubiertas vegetales destaca por su fácil adopción y la gran cantidad de beneficios asociados de interés general (conservación y mejora de la calidad del suelo y del agua, reducción del uso de insumos industriales y energía fósil, posibilidad de integrar ganado de forma temporal, fomento de la biodiversidad a nivel predial y de paisaje, etc.). Estas características, sobre todo las relacionadas con un manejo más extensivo, coinciden con el manejo tradicional del olivar de montaña, razón por la cual su conversión a la producción ecológica es más sencilla que la de otros olivares más intensivos, ya que de forma natural se presta a ello. Aunque la transición del olivar hacia un manejo ecológico se realiza con cierta facilidad, sobre todo en los lugares con una menor intensificación productiva, cada vez más se asocia a olivares más productivos. De este modo, en 2011 se incrementó un 21% la superficie de olivar ecológico en zonas de marcado carácter productivo y zonas de campiña (CAP, 2012). Por todo esto, el objetivo en las zonas pioneras desfavorecidas es optimizar la producción y ofrecer aceites de máxima calidad y diferenciación, e incrementar así las rentas percibidas (Alonso *et al.*, 2002b; Barea & Ruiz, 2009). Una de las alternativas del olivar tradicional, que ocupa dos tercios de la superficie olivarera andaluza, es su continuidad basada en la contribución al desarrollo rural sostenible gracias al carácter multifuncionalidad y generador de externalidades positivas, aportando bienes y servicios ambientales a la sociedad.

Dotar a los olivareros de la información y las herramientas que les faciliten la toma de decisiones debe encuadrarse en un proceso de investigación acción participativa que suponga, finalmente, propuestas colectivas de cambio social. El trabajo técnico-agronómico, profundiza en el conocimiento del funcionamiento del olivar y supone una acumulación de información que se puede integrar en las estrategias de mejora socioeconómica y ecológica, teniendo en cuenta el conocimiento local y las particularidades de cada territorio. Es necesario aumentar la producción y difusión de investigaciones que resuelvan los problemas o carencias de la agricultura ecológica y que profundicen en la demostración de la mayor sostenibilidad de la agricultura ecológica entendida desde un punto de vista amplio. Esta transformación debe basarse en el conocimiento y las habilidades de los propios agricultores ecológicos, pero dotándoles de un arsenal de razones y, especialmente, de resultados para aumentar su autoestima y para dar una visión más cercana e informada sobre este tipo de producción (Gallar & Alonso, 2004; Mudarra & Alonso 2006). Por todo ello, el enfoque agroecológico debe construir alternativas basadas en la acción interdisciplinar. Guzmán *et al.*, (2011), señalan que el aumento en los subsidios directos a los agricultores ecológicos, puede ayudar a fomentar la superficie de olivar certificado pero no necesariamente fomentar una mayor sostenibilidad. Para dar este paso deben aplicarse medidas indirectas para fomentar la creación de plantas de compostaje de alpeorujo, mantenimiento de setos y el uso de biocombustible en la maquinaria. Se necesitan investigaciones adicionales para desarrollar tecnologías, optimizar la fertilización orgánica, mejorar el manejo de hierbas, identificar la biodiversidad funcional, etc.

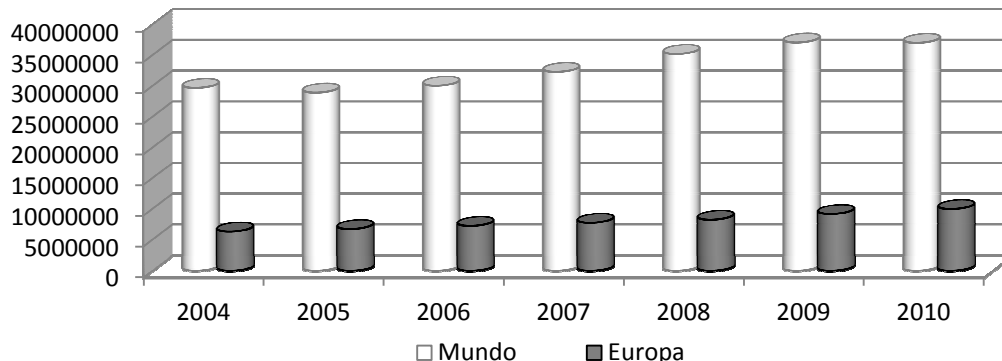
Para introducir la investigación que se presenta en la segunda parte de este documento, en primer lugar, se enmarca el objeto de estudio, mostrando el potencial de la olivicultura ecológica como alternativa a la problemática actual del olivar, poniendo de manifiesto como el uso de cubiertas vegetales repercute en una mayor sostenibilidad, y por último justificando la necesidad de realizar una investigación de tipo técnico-agronómico con el objetivo de avanzar en las opciones de manejo de las cubiertas como alternativa al suelo desnudo en olivares ecológicos. Tras enmarcar el objeto de estudio en la investigación agroecológica y en su contexto técnico-agronómico, se exponen las hipótesis de partida y los objetivos generales de la investigación. En la segunda parte del trabajo, se caracteriza y define el estudio de caso que se ha realizado durante seis años en un olivar del municipio de Deifontes (Granada), donde se han ensayado distintas coberturas vegetales (natural y sembrada) y distintos manejos (laboreo superficial y desbrozado). A continuación se presentan en distintos capítulos los objetivos específicos, la metodología y los resultados obtenidos para cada grupo de indicadores relacionados con un aspecto agroecosistémico relevante muestreado. De este modo, el primer capítulo se centra en la evolución de las comunidades arvenses que forman las cubiertas y su diversidad funcional, el segundo en la dinámica del agua en el suelo, el tercero en las propiedades físico-químicas del suelo, la fertilidad del mismo y la dinámica del nitrógeno, y el cuarto capítulo en la productividad del sistema. Por último, se aborda la funcionalidad de las cubiertas en el olivar en base a los indicadores obtenidos para cada uno de los capítulos a modo de interpretación global. La información registrada en relación al agua en el suelo, las propiedades del mismo o la productividad tienen como objetivo apoyar y correlacionarse con cuestiones más desconocidas como la diversidad funcional de las cubiertas vegetales y su evolución, así como con la funcionalidad general de las cubiertas en relación a los procesos ecosistémicos básicos según el tipo de manejo y de cubierta empleada.

SITUACIÓN ACTUAL DEL OLIVAR ECOLÓGICO

LA AGRICULTURA ECOLÓGICA

La superficie destinada a la agricultura ecológica aumenta sin pausa desde finales de la década de 1980. En 2010, este tipo de producción ocupa 37 millones de hectáreas en todo el mundo y tiene un valor de mercado de más de 59 mil millones de dólares (Figuras I.1 y I.2). Los ingresos provenientes de este mercado se distribuyen en un 49% en Norteamérica y en un 47% en Europa (Willer & Kilcher, 2012a). Asimismo, el consumo de alimentos ecológicos también se concentra en los países más desarrollados del hemisferio norte. En 2010, la Unión Europea cuenta con 10 millones de hectáreas manejadas en ecológico (27% de la superficie mundial) (Willer & Kilcher, 2011). El incremento de la superficie ecológica se ha acentuado desde mitad de la década de 2000, sobre todo en América Latina y Asia, mientras que en la Unión Europea se ha dado de forma más sostenida desde principios de la última década del siglo pasado (Figura I.1), ocupando en 2010 el 5,1% de su superficie agrícola. El crecimiento global de este tipo de producción se debe al incremento, en primer lugar, de la superficie dedicada a cultivos permanentes como los pastos y praderas (64% del total) y los bosques, seguido de la superficie cultivada (10%) y en tercer lugar los leñosos (7%). El cultivo del olivar ecológico ocupa unas 500.000 has y supone el 19% de la superficie agrícola mundial ecológica ocupada por leñosos, porcentaje sólo superado por la superficie de cafetales (Willer & Kilcher, 2012a, b y c).

Figura I.1. Evolución de la superficie de Agricultura Ecológica (has). Willer & Kilcher, 2011; 2012a



España se sitúa, desde 2008, en el primer lugar de la Unión Europea en número de hectáreas dedicadas a la agricultura ecológica, con unas 1.847.000 hectáreas en 2011 (Figura I.3), que suponen más del 15% del total europeo, en torno al 7,3% de la superficie agraria útil del país (MARM, 2011 y 2012c). A nivel mundial España se sitúa en el quinto lugar, y a la cabeza se encuentra Australia, seguida de Argentina y EEUU (Willer & Kilcher, 2012a). Desde el año 2005 hasta 2011, Andalucía es la Comunidad Autónoma con mayor producción ecológica, representando más de un 50% de la superficie ecológica total de España. Por otro lado, la provincia de Granada se encuentra en quinto lugar de importancia dentro de Andalucía, ocupando un 12% del total de la superficie ecológica de esta Comunidad (MARM, 2011). Desde que la agricultura ecológica empezó a implantarse en España, Andalucía ha estado a la cabeza hasta la actualidad, con una superficie destinada a este tipo de producción muy superior al resto de Comunidades Autónomas (Figura I.4).

Figura I.2. Crecimiento del mercado global de alimentos ecológicos (Millones de \$ USA). Willer & Kilcher, 2011 y 2012a.

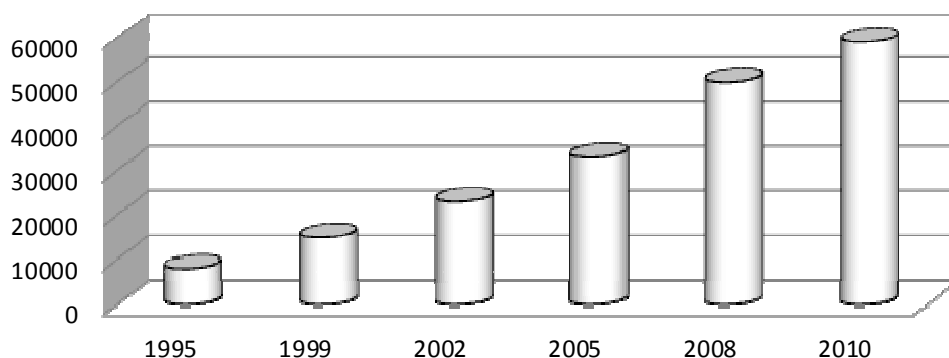


Figura I.3. Evolución de la superficie de Agricultura Ecológica (has) en España, Andalucía y Granada. MARM, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009a, 2010a y 2011.

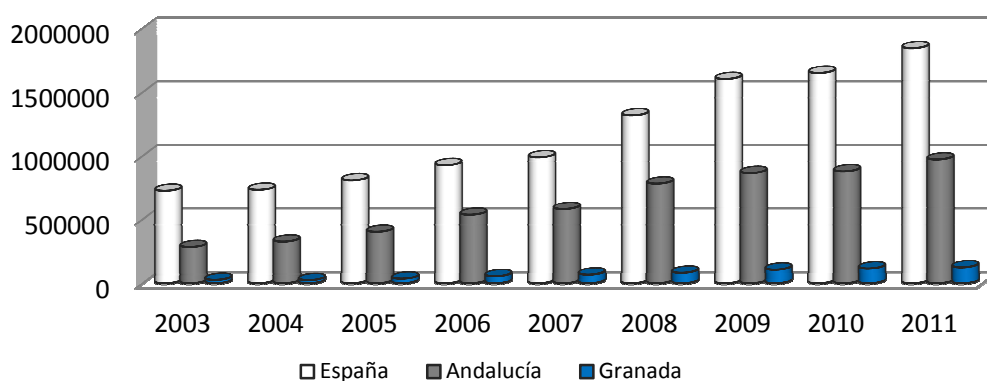
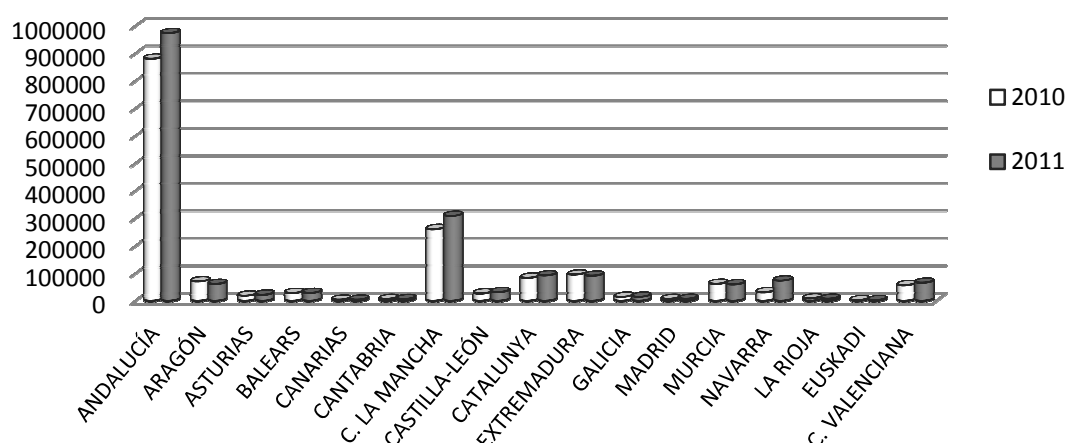


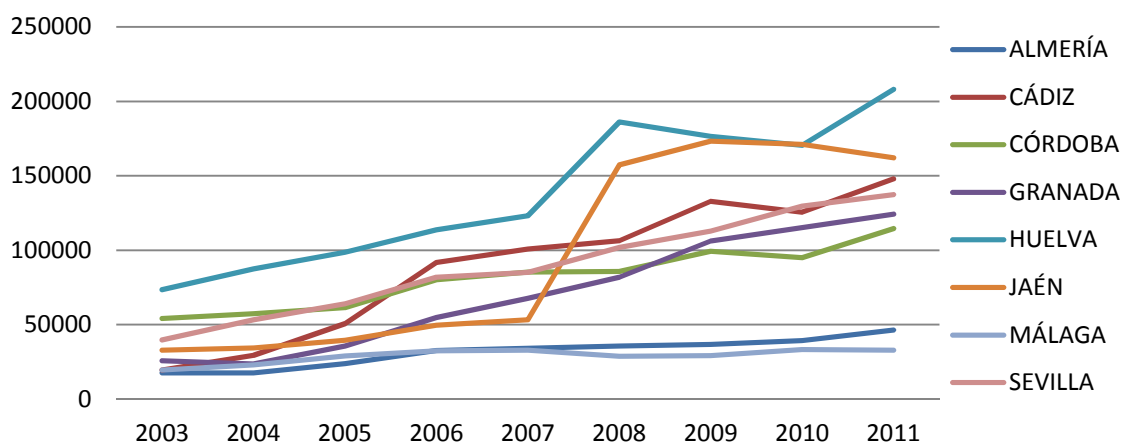
Figura I.4. Superficie inscrita en Agricultura Ecológica (has) por CCAA. MARM, 2010a y 2011.



En Andalucía, el año 2011 el número de hectáreas inscritas en agricultura ecológica es de 973.239, seguida por Castilla-La Mancha con 307.612 has, Cataluña con 92.434 has y en cuarto lugar Extremadura con 91.108 has.

En España, las orientaciones productivas principales son los pastos y praderas (49% de superficie ecológica total), seguidas de los bosques (11,9%). En cuanto a la superficie ecológica cultivada destacan los cereales (9,6%), seguidos del olivar (9,1%), barbechos y abonos verdes (5,5%), los frutos secos (5,2%) y la vid (4,2%). Por otro lado, la superficie de platanera y subtropicales se ha triplicado desde 2003 hasta 2011, mientras que la superficie dedicada a la fruta dulce ha disminuido en un 12% de 2010 a 2011 (MARM, 2003 y MARM, 2011).

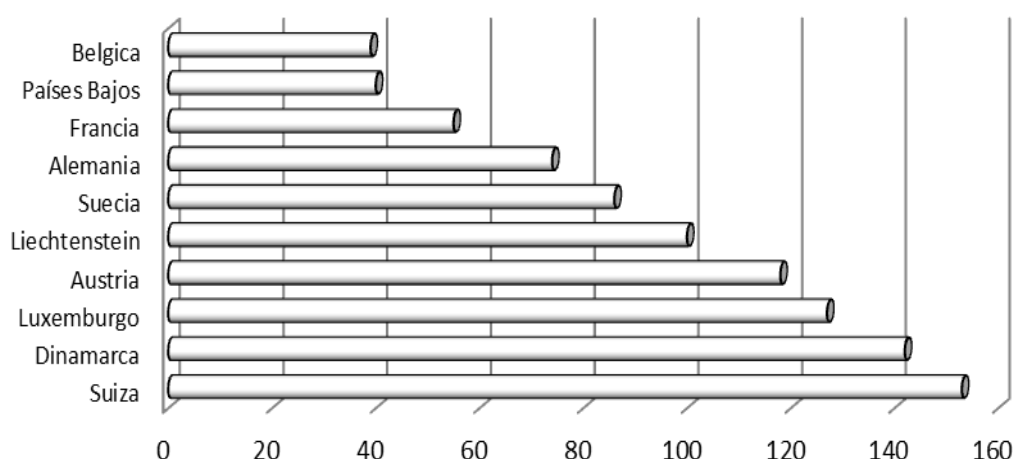
Figura I.5. Evolución de la superficie total inscrita en Agricultura Ecológica (has) por provincias. MARM, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009a, 2010a y 2011.



En la Figura I.5, se muestra la evolución de la superficie dedicada a producción ecológica por provincias en Andalucía. Se puede observar como Huelva y Jaén se encuentran desde 2008 a la cabeza, debido principalmente a la superficie inscrita y en conversión, de pastos y praderas (estrechamente relacionada con la ganadería ecológica sobre todo en el caso de Huelva) de bosques, y al incremento de la superficie de olivar ecológico, seguido de los frutales (MARM, 2011). Les siguen en importancia Cádiz, con una gran superficie de pastos y praderas y un auge de la vid ecológica, y luego Sevilla, con una gran extensión certificada de pastos (también en relación con la ganadería extensiva). Sevilla ha visto incrementada la superficie de olivar ecológico de forma continuada en los últimos cinco años, seguida de los frutales en menor proporción. Granada, al igual que Sevilla, sigue una tendencia al alza desde 2003 de forma muy constante, con un incremento continuo de la superficie dedicada a cereales, leguminosas, y hortalizas. De forma más ligera sucede con el olivar y los frutales, a la vez que presenta un importante incremento la superficie de frutos secos y la vid en comparación al resto del territorio andaluz. En Granada, los pastos son importantes pero tienen un menor peso relativo que en otras provincias. En Córdoba, en primer lugar se sitúan los pastos y forrajes ecológicos, y es la provincia con mayor superficie de olivar ecológico desde hace más de diez años, seguido de los bosques y los cereales que estarían en cuarta posición. Almería sigue la tendencia alcista de Granada en cuanto a los frutos secos y a la vid, mientras que, junto a Málaga, aumentan la superficie destinada a frutales ecológicos. La vocación más intensivista de Almería y Málaga, en relación a las hortalizas y a los frutales, ha mantenido hasta hace poco, la producción ecológica en un segundo plano respecto a las provincias que dedican mayor superficie a actividades más extensivas y de más fácil conversión.

Contrasta el aumento en el número de productores ecológicos con la escasa demanda nacional de alimentos ecológicos, esto no permite desarrollar y consolidar un mercado para este tipo de productos en España. Puesto que la oferta supera en mucho la demanda interna, la mayor parte de la producción se destina al mercado exterior. El 44% de la producción de alimentos y bebidas, elaborados por las industrias ecológicas españolas se destina a la exportación (MARM, 2010b). De 2009 a 2011 las exportaciones españolas de productos ecológicos aumentaron un 11,5% pasando de 454 a 506 millones de euros. En 2011 el valor de la producción ecológica española en origen, se situó en torno a los 813 millones de euros, lo cual supuso un incremento, respecto a 2009, superior al 25% (MARM, 2012a). En el año 2011 el mercado interior fue de 965 millones de euros, que supone en torno al 1% del gasto interior en alimentación y bebidas en España, y un incremento del 6,6% respecto a 2009, frente a un retroceso del 0,5% en el gasto total alimentario en España (MARM, 2012a). Este hecho debe destacarse como una fortaleza del mercado ecológico, más significativo aún si se enmarca en el contexto de la crisis económica existente. España se sitúa a la cola en el consumo por persona en alimentación ecológica, con unos 20 euros al año (Figura I.6) (MARM, 2012a).

Figura I.6. Mercado Europeo de alimentos ecológicos: países con mayor consumo en 2010 (€/persona). Willer & Kilcher, 2012a.



Por otro lado, teniendo en cuenta tanto la producción agrícola como la ganadera, el número de productores ecológicos ha crecido en casi todas las Comunidades Autónomas. Existen alrededor de 11.000 en Andalucía, seguida de Castilla la Mancha con más de 7.000 y un gran auge de 2010 a 2011. Extremadura se encuentra en el tercer lugar en cuanto a número de productores, aunque está experimentando un descenso ligero pero continuado desde 2004. El desarrollo de la agricultura ecológica en la última década ha repercutido en el aumento en el número de elaboradores, importadores y comercializadores en todas las Comunidades, y de forma más significativa en aquellas con una mayor superficie ecológica y las que poseen un mayor tejido agroindustrial (Figura I.7). De 1999 a 2009 el número de operadores en España aumentó en un 123%. De 2010 a 2011 se reduce en España el número de transformadores y elaboradores en un 0,66% y destaca la fuerte reducción en Andalucía, que no está en consonancia con la tendencia alcista en el número de productores (Figuras I.7 y I.8).

Figura I.7. Número de productores en Agricultura Ecológica. MARM, 2009a, 2010a y 2011.

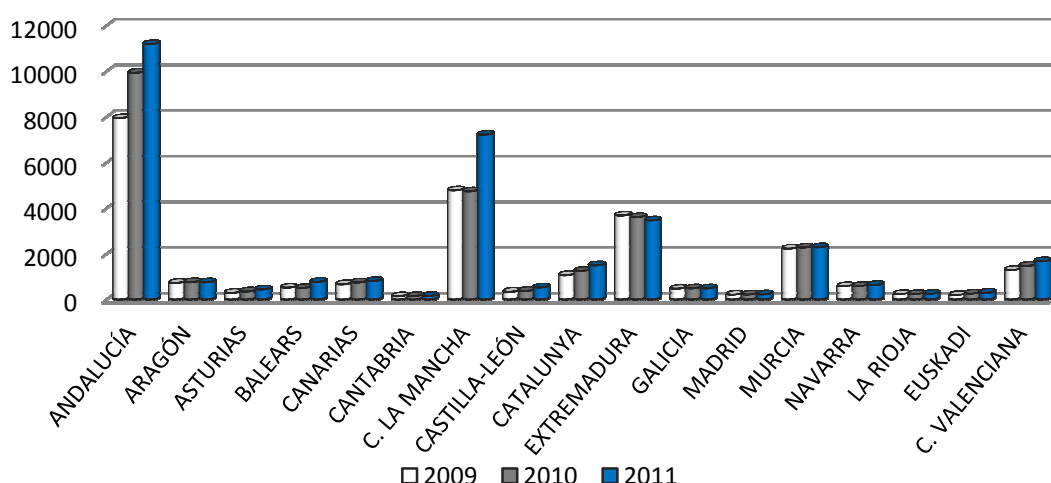
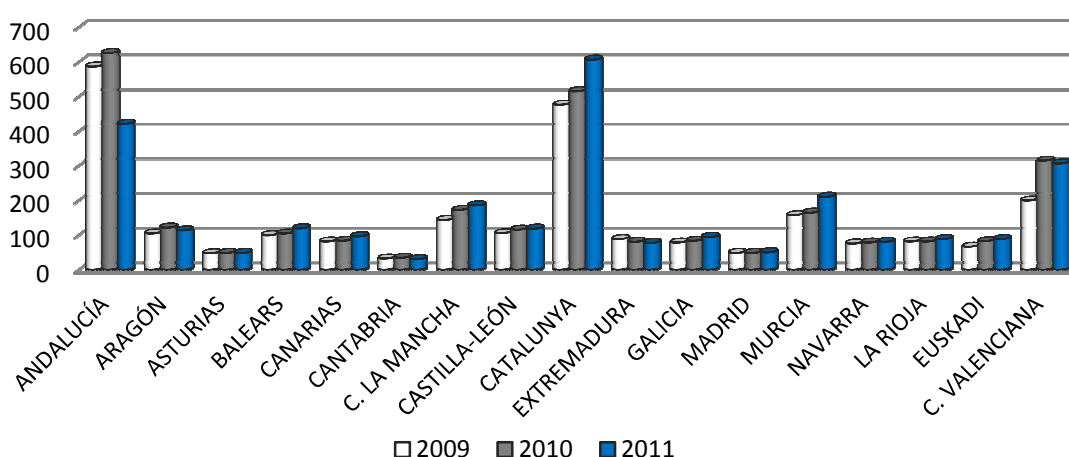
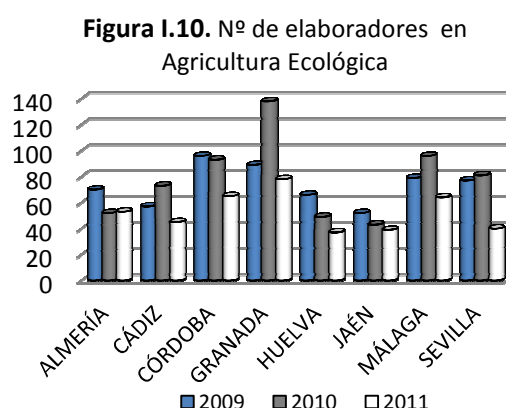
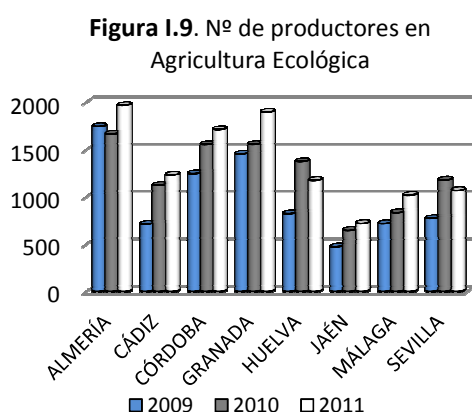


Figura I.8. Número de elaboradores en Agricultura Ecológica. MARM, 2009a, 2010a y 2011.



Las estadísticas por provincias en Andalucía, respecto al número de productores y elaboradores de 2009 a 2011, se pueden ver resumidas en las Figuras I.9 y I.10. Excepto Almería, que incrementa ligeramente el número de elaboradores, el resto de provincias ve reducido este indicador. Jaén es la que experimenta un descenso menos acusado. Sevilla y Huelva muestran una bajada de elaboradores en consonancia con el descenso en el número de productores, esto puede deberse en parte a los elaboradores productores relacionados con la producción animal, que tiene un peso importante en la actividad tanto agrícola como ganadera en estas dos provincias. En esta línea, parece ser que este descenso está relacionado sobre todo con las carnes frescas, los piensos, ovino y caprino para la producción de leche y lácteos. En Cádiz y Córdoba, al igual que en Sevilla y Huelva, la bajada en el número de elaboradores también puede estar relacionada en parte con la actividad ganadera. En los últimos años, con lluvias escasas y la subida del precio de los cereales y los piensos, junto a la mayor complejidad de la producción y del mercado ecológico de la carne, han hecho difícil mantener las producciones ganaderas y puede haberse resentido el número de elaboradores de este sector.

En cuanto a la producción vegetal y el descenso en el número de elaboradores, las actividades que parecen haber disminuido de forma más considerable son las hortalizas, conservas y zumos, el pan y las pastas y las bodegas, afectando de forma más severa a los elaboradores productores y a las pequeñas y medianas empresas y cooperativas. Esta situación también tiene como catalizador el empeoramiento continuado de la crisis socioeconómica y política en la que se encuentra inmersa España desde 2007. En cuanto a la actividad industrial, de 2010 a 2011 desaparecen en Andalucía 50 industrias dedicadas a la manipulación, transformación y /o envasado de productos ecológicos que provienen de la agricultura, y principalmente afecta a las provincias de Sevilla, Córdoba y Granada y a los productos hortícolas, conservas y zumos, pan y pasta y bodegas. En valor absoluto, Huelva es la única provincia en la que se reduce el número de industrias relacionadas con la producción vegetal y en Granada se frena en seco el incremento de los años anteriores. Sin embargo, destaca el aumento en el número de industrias hortalizas en Almería, Sevilla y Cádiz, de conservas y zumos en Córdoba y de cereales y legumbres en Granada. Jaén y Córdoba son las que experimentan un incremento más importante en el número de almazaras y envasadoras de aceite.



Fuente: MARM, 2009a, 2010a y 2011

EL OLIVAR ECOLÓGICO

La superficie de olivar ecológico en el mundo ha aumentado de forma continua hasta cerca de las 500.000 hectáreas en 2010 (Willer & Kilcher, 2012b). Esta superficie representa el 5,4% de la superficie total de olivar cultivada en el mundo (9,2 millones de hectáreas). En España, las 168.619 has existentes en 2011 suponen alrededor del 8% de la superficie de olivar cultivada en España (2,2 millones de hectáreas). Aunque a nivel mundial de 2009 a 2010, el incremento fue sólo de un 2,1% (4.000 hectáreas) y parece estancarse la tendencia alcista (Figura I.11), si tenemos en cuenta que de 2010 a 2011 sólo en España este incremento es de más de 40.000 hectáreas, es probable que se haya producido un incremento importante en la superficie mundial durante 2011 (MARM, 2011).

Figura I.11. Evolución de la superficie de olivar ecológico en el mundo (has). Willer & Kilcher, 2011.

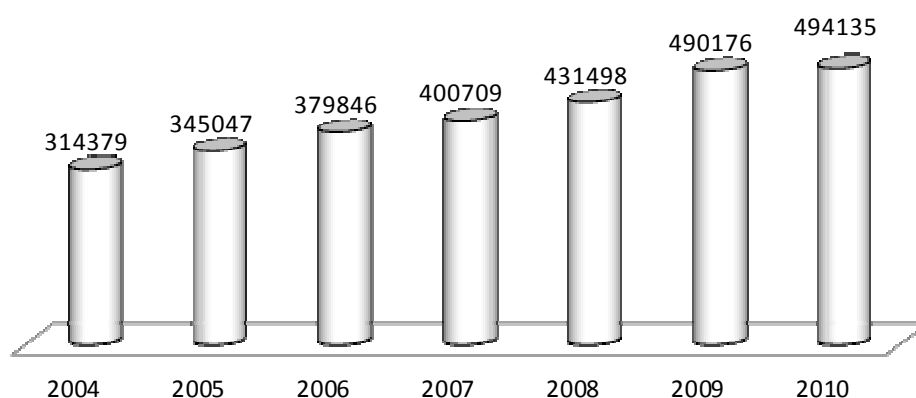
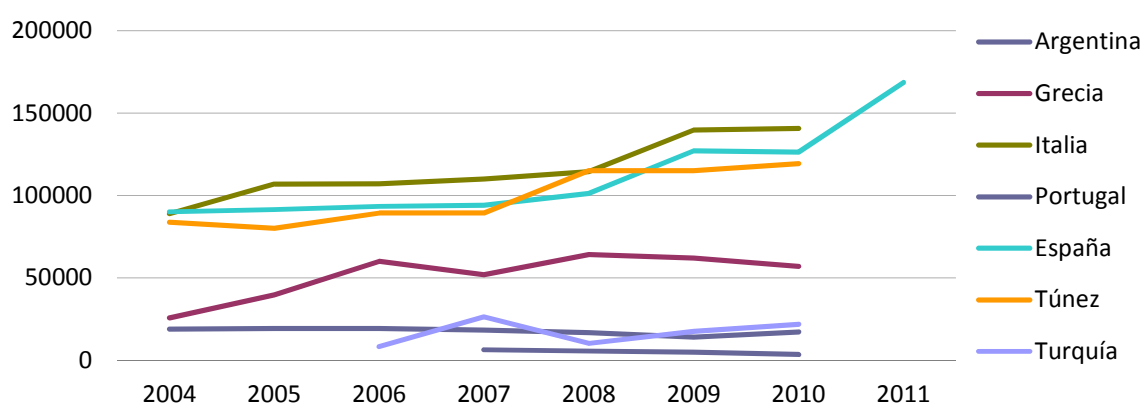


Figura I.12. Evolución de la superficie de olivar ecológico en los principales países productores (has). Eurostat, 2012; Willer & Kilcher, 2011; MARM, 2011.



Este crecimiento sucede mayoritariamente en la región mediterránea, donde tradicionalmente se concentra la producción de aceite de oliva; los olivos dedicados a aceituna de mesa ocupan una superficie significativamente menor (alrededor de un 1% del total de olivos ecológicos). En los países con clima mediterráneo como Chile, aumenta paulatinamente este tipo de cultivo, pero aún supone un porcentaje muy pequeño a escala mundial. Los principales países productores aparecen en el Figura I.12, les seguirían por orden de importancia, Francia, Marruecos y Chile (Eurostat, 2012).

En España, la olivicultura ecológica, al igual que el resto de orientaciones productivas en ecológico, ha crecido de forma muy importante en los últimos años, de 2001 a 2011 se ha incrementado un 108%, pasando de 81.000 hectáreas a 168.619 (23,3% de la superficie ecológica cultivada). En 2011-2012 España supera por primera vez a Italia en cuanto a la superficie dedicada al olivar ecológico, como se puede ver en la Figura I.12 (MARM, 2011). El olivar ecológico en España supone un 11,4% del valor total de la producción ecológica (MARM, 2012a). La producción de aceituna en miles de toneladas, se ha visto incrementada en España un 12,92% en el periodo comprendido entre 2009 a 2011, pasando de 113,54 a 128,21.

Desde la última década del s. XX, Andalucía ha liderado la superficie de olivar ecológico en España; a partir de finales de la década de 1990, Extremadura experimentó un gran crecimiento, pero desde 2009 la superficie de olivar ecológico se reduce en esta Comunidad, debido entre otros factores, al bajo número de almazaras existentes con línea ecológica (se reduce un 44% de 2003 a 2010). En 2003 Andalucía y Extremadura representaban el 82% del olivar ecológico español. No obstante, en 2008, la superficie de este tipo de olivar en Castilla la Mancha crece hasta las 12.835 hectáreas y alcanza en 2011 las 62.284, superando por primera vez a la superficie ocupada en Andalucía y en Extremadura (Figura I.13 y Tabla I.1). A nivel productivo, Andalucía sigue ocupando el primer lugar, debido a la reciente incorporación de gran parte de los olivares ecológicos de Castilla La Mancha (Tabla I.1). Por detrás se sitúan Catalunya, Valencia y Murcia con una superficie mucho menor. El incremento de la superficie de olivar ecológico en España se ha visto reflejado en la industria, las almazaras han pasado de 120 en 2001 a 367 en 2011. El 40% de las almazaras se encuentran en Andalucía, mientras que Castilla la Mancha y Catalunya tienen 43 almazaras cada una (MARM, 2011).

Figura I.13. Evolución de la superficie de olivar ecológico en las principales CCAA productoras (has). MARM, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009a, 2010a y 2011.

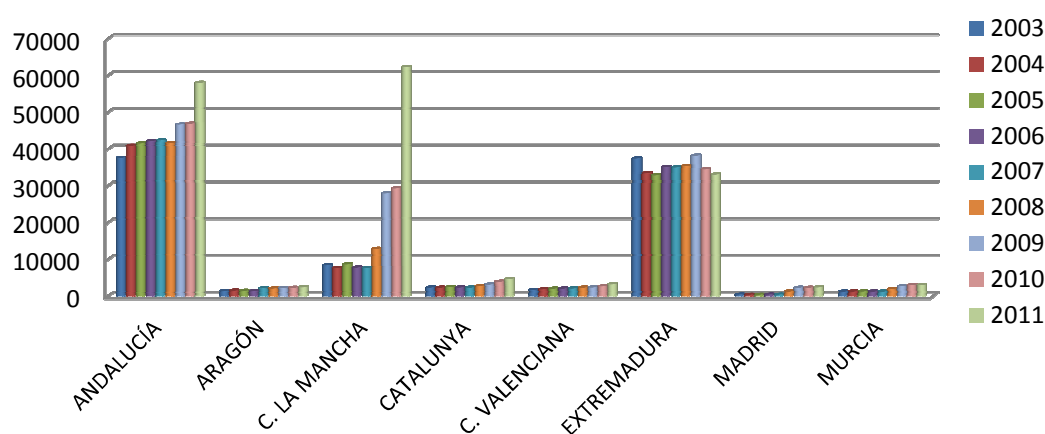


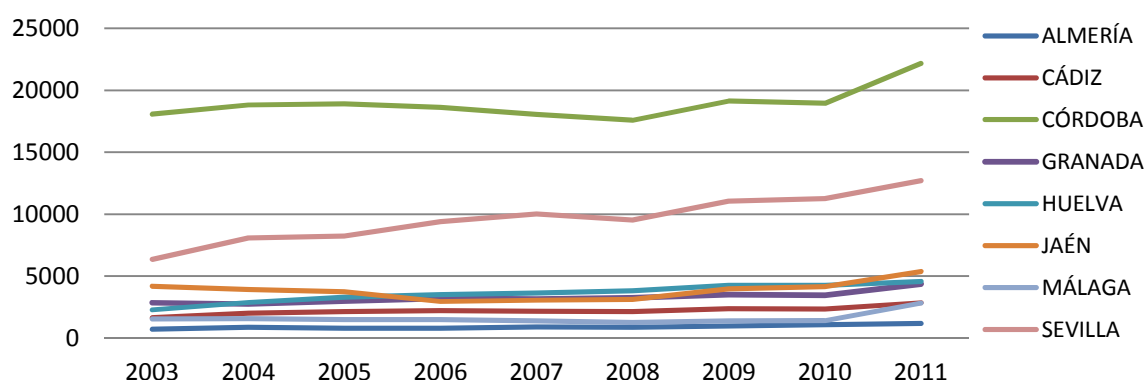
Tabla I.1. Magnitudes del olivar ecológico en las CCAA productoras (2011). MARM, 2012a.

	Superficie inscrita (Has)	Superficie productiva	Producción (t)
Castilla La Mancha	62.284	12.487	21.852
Andalucía	56.023	39.048	58.840
Extremadura	33.031	27.118	32.542
Total España	168.171	89.954	128.205

En Andalucía, Córdoba es la principal productora de olivar ecológico, concentrando desde 2003 en torno al 40% de la superficie total de esta Comunidad Autónoma (Figura I.14). En 2011, Córdoba se sitúa en primer lugar con el 38%, le sigue Sevilla con el 21%; en tercer lugar Jaén con el 9,2%, luego Huelva con el 7,8% y en quinto lugar está Granada con 4.380 hectáreas (7,5%). Jaén, la provincia con mayor tradición aceitera apenas experimenta un ligero incremento de este tipo de producción desde 2008 y de forma un poco más acentuada desde 2010 (MARM, 2011).

El crecimiento de la olivicultura ecológica se da principalmente en los olivares de secano, situados en media y alta pendiente y con un manejo tradicional (con más de un pie y menos de 140 árboles por hectárea), este tipo de cultivo representa el 56,4% del olivar andaluz. En menor proporción se certifican en ecológico los olivares de regadío con manejo tradicional de pendiente moderada, con un peso del 11,73% del olivar andaluz (CAP, 2008). No obstante, en los últimos años esta tendencia varía, alejándose el olivar ecológico de las zonas de montaña, en pendiente o desfavorecidas, certificándose cultivos de regadío intensivos con baja pendiente (con un solo pie y más de 140 árboles por hectárea).

Figura I.14. Evolución de la superficie de Olivar Ecológico (has). MARM, 2011.

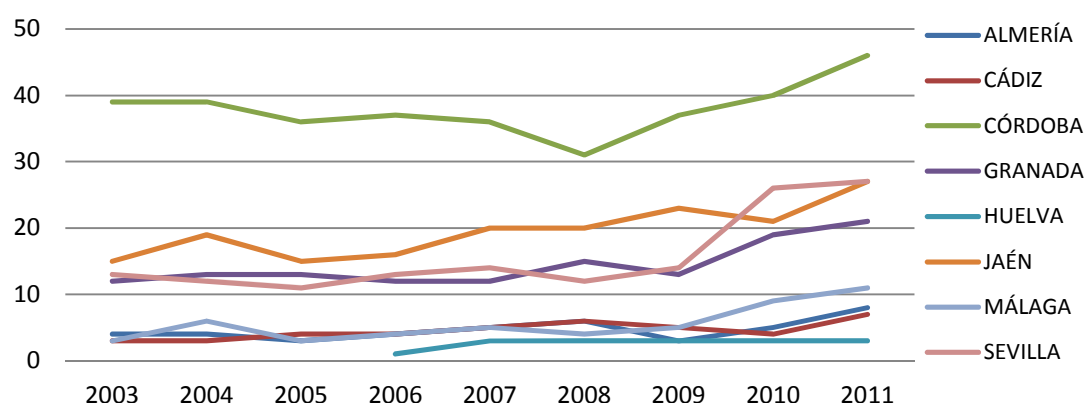


En 2011, en Andalucía se produjo un incremento de 810 nuevos olivareros ecológicos, alcanzando los 4.264. De estos 810 nuevos operadores, el 25% se encuentran en superficies de menos de un 8% de pendiente. Actualmente, el olivar ecológico ya no se puede asociar exclusivamente a zonas de sierra (Los Pedroches, Sierra de Segura, Sierra Mágina, etc.) sino que empieza a implantarse en terrenos muy productivos. La expansión del olivar ecológico en comarcas de olivar de campiña se da, entre otros, en los municipios de Baena, Bujalance, Guadalcazar, La Campana, Úbeda o Alcaudete con un total de 1.760 hectáreas (CAP, 2012). Recientemente, en zonas de sierra ha aumentado la superficie dedicada a olivar ecológico en los municipios cordobeses de Obejo, Villanueva de Córdoba y Pozoblanco con un incremento de 918 hectáreas. Por otro lado, una zona de reciente conversión se encuentra en el norte de Málaga, concretamente el municipio del Burgo donde se han certificado 524 hectáreas. Es de destacar la incorporación a la olivicultura ecológica de parte de los olivares destinados a la producción de aceituna Aloreña (D.O) para mesa y aceite en la Sierra de las Nieves.

En 2003 Andalucía tenía 90 almazaras ecológicas, y en 2011 existe un total de 150; 46 de ellas se encuentran en Córdoba, en Sevilla y Jaén hay 27 en cada provincia, seguidas de Granada con 21 y Málaga con 11 (Figura I.15). A partir de 2009, Sevilla, Granada, Málaga y Almería experimentan un crecimiento de este tipo de actividad industrial, sobre todo Sevilla, que duplica en dos campañas el número de almazaras ecológicas. Huelva tan solo cuenta con 3 almazaras de este tipo (MARM, 2011). Las hectáreas de olivar ecológico que en teoría le corresponderían a cada almazara, son por un lado 199 en el caso de Jaén, y en el otro extremo, 1.527 en el caso de Huelva. Para el caso de Jaén se puede hipotetizar que se trata de iniciativas de pequeños grupos de agricultores y almazaras de poca capacidad, mientras que en el segundo caso se trataría de medianas o grandes cooperativas que han apostado por este tipo de producción en conjunto en un mismo territorio o bien, que existen productores ecológicos

que venden en convencional su aceituna. A menudo los agricultores ecológicos tienen que recorrer más kilómetros de lo deseable para poder llevar su aceituna a una almazara con línea ecológica y a veces esta almazara se encuentra fuera de su provincia. En otros casos, lo que más perjudica al desarrollo de la producción y comercialización del aceite de olivo ecológico es que, a pesar de llevar varios años produciendo en ecológico, no existe otra salida que llevar la aceituna a una almazara que no cuenta todavía con una línea ecológica, o si la tiene no ha encontrado un mercado adecuado para la venta. Esta situación implica que no se pueda obtener el precio diferencial correspondiente ya que se vende en convencional o con una diferencia de precio muy pequeña respecto a este, esto desanima a muchos productores, que ven como el esfuerzo realizado a nivel productivo no se traduce en un beneficio económico.

Figura I.15. Número de Almazaras y/o Envasadoras de Aceite. MARM, 2011.



También cabe destacar la correspondencia existente entre el aumento de la superficie de olivar y la mayor implantación de plantas de compostaje en almazaras dentro de un mismo término municipal. Este sería el caso de municipios cordobeses como Guadalcazar, Castro del Río, Baena, Santaella, Posadas, Pozoblanco o como Alcaudete en Jaén (CAP, 2012).

EL MERCADO Y LA DEMANDA DE ACEITE DE OLIVA ECOLÓGICO

España es el principal productor de aceite ecológico del mundo con alrededor de 50.000 toneladas producidas en 2011¹. El incremento en la producción de aceite de oliva virgen y virgen extra ecológico sigue una fuerte tendencia al alza teniendo en cuenta que en 2009 se produjeron en torno a las 40.000² toneladas (MARM 2010b). Andalucía y Castilla la Mancha concentran alrededor del 60% de la producción de aceite ecológico de España. Con datos de la empresa privada CAAE, que certifica el 40% del olivar ecológico de estas dos Comunidades Autónomas, podemos hacernos una idea del importante desarrollo de la producción y el mercado del aceite ecológico (Figuras I.16 y I.17).

El sector oleícola no es una excepción en cuanto a la demanda interna de alimentos ecológicos, el mercado nacional es incapaz de absorber la producción de aceite de oliva virgen y virgen extra ecológico, llegando este producto tan solo a un 1% de los hogares españoles, y

¹ Estimación a partir de MARM 2012b con un rendimiento en aceite del 20 %.

² Estimación a partir de MARM 2010b con un rendimiento en aceite del 20 %.

representando menos del 0,3% de la cuota de mercado del aceite virgen extra convencional (MARM, 2010b; MARM, 2012b).

Figura I.16. Aceite ecológico comercializado (t). Asociación CAAE 2010 y 2011.

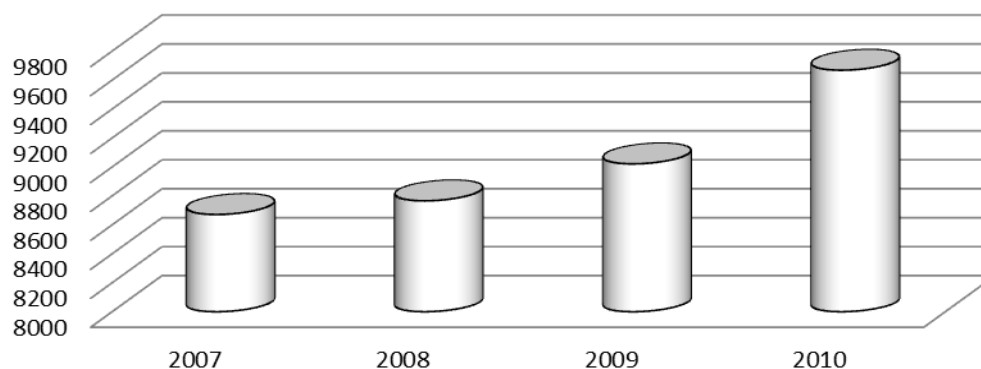


Figura I.17. Destino del aceite ecológico (t). Asociación CAAE 2010 y 2011.

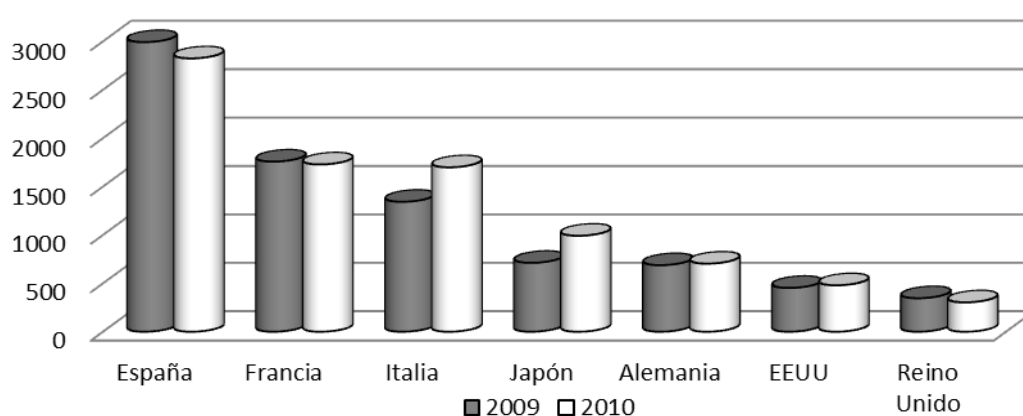


Figura II.18. Ventas aceite envasado (t)

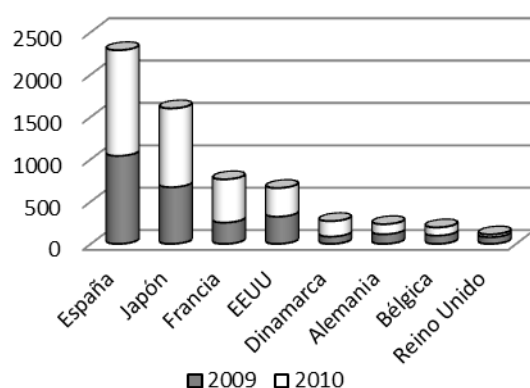
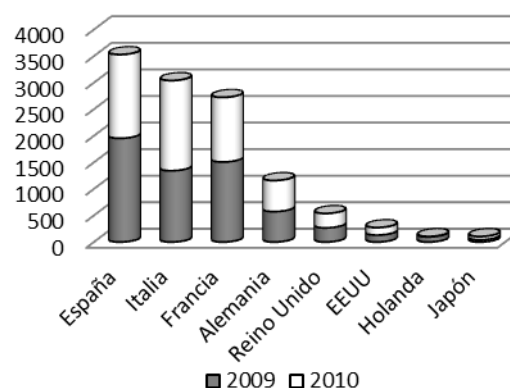


Figura II.19. Ventas aceite a granel (t)



Fuente: Asociación CAAE 2010 y 2011

Más del 65% del aceite ecológico producido en España se destina al mercado externo (Parras, *et al.*, 2011; MARM, 2012a), y únicamente alrededor de la mitad se exporta envasado (Figuras I.18 y I.19). Actualmente, aumentar el consumo nacional de productos ecológicos se plantea

como todo un reto, y desde el sector y las administraciones ya se han diseñado varios planes y líneas de acción para fomentarlo. Por otro lado, desde Europa el incremento de la demanda de la alimentación ecológica es una prioridad, ya que este tipo de agricultura se plantea como la base para la dinamización de muchas zonas rurales, y como un indicador de sostenibilidad, vinculando el desarrollo económico, el respeto al medio ambiente y la justicia social (Parras *et al.*, 2011; Vega *et al.*, 2012). En el mercado europeo e internacional crece la tendencia a consumir productos sanos, seguros y respetuosos con el medio ambiente, así como productos artesanales y tradicionales. En este marco se encuentra España, como mercado de oferta ante los mercados demandantes, lo que conlleva un rápido desarrollo de la exportación de materias primas y producto no elaborado como salida natural a la escasa demanda interna, así como la falta de oferta de producto ecológico por dificultades de comercialización o desinterés del distribuidor convencional (MARM, 2009b).

El precio sigue siendo uno de los principales limitantes a la hora de consumir aceite de oliva ecológico, además de la escasa disponibilidad y la deficiente distribución; a esto se suma la desconfianza en la certificación de calidad y el desconocimiento de este producto y sus características diferenciales, sobre todo frente al virgen extra convencional, que goza de un gran prestigio entre la población (Parras *et al.*, 2011; Vega *et al.*, 2011a y b). Los pocos estudios que abordan esta problemática en la última década (Calatrava, 1998 y 2002; Baourakis y Apostolakis, 1999; Bernabéu *et al.*, 2009) determinan que el consumidor ecológico sólo está dispuesto a pagar por el aceite ecológico un sobreprecio de entre el 5% y el 20% (diferencial mínimo para remunerar la producción ecológica según algunos autores).

El balance económico presentado por Alonso (2011) recopilando información de 13 estudios y más de 100 casos distintos comparados entre olivicultura ecológica y convencional, concluye que el sobreprecio percibido por los olivereros ecológicos oscila entre un 16 y un 52% en el precio de la aceituna. Pero si no se cuenta con estructura comercial diferenciada este sobreprecio es del 0%. El precio del aceite por debajo de los 1,8€/L, o los 0,4€/Kg aceituna percibidos por el oliverero, sólo mantienen la rentabilidad de las explotaciones de olivar intensivo y superintensivo (Cubero & Peco, 2010). En 2001, en un estudio sobre el mercado ecológico en la ciudad de Córdoba (García Trujillo, 2002) se encontró un diferencial de precio al consumidor de un 32% entre el aceite virgen extra ecológico con relación a similares convencionales, pero con una gran variación con relación a la calidad de los aceites, presentación y marca. Según otro par de estudios realizados correspondientes a la década de 2000 (Tabla I.2), en función del tipo de envase y su tamaño, la variedad de aceituna, y muy importante, el establecimiento donde se compre el aceite, el consumidor puede encontrar una diferencia de precios entre el 37% y el 80%. Por otro lado, mientras que el 85% del aceite convencional se vende en establecimientos de libre servicio (Parras *et al.*, 2011), el 58% de la venta de aceite ecológico en este canal de la gran distribución se encuentra concentrada en los hipermercados (MARM, 2012c).

En la Tabla I.2 se exponen los resultados de varios estudios, el primero, realizado por la Universidad de Jaén (Parras *et al.*, 2011) analizando la evolución de los precios de 2002 a 2007 tanto en grandes superficies como en pequeños comercios, concluye que, el diferencial de precio entre aceite virgen extra convencional (AOVEC) y ecológico (AOVEE) es de un 37%. Por otro lado, en 2009-2010 el precio del litro de aceite ecológico es de media un 132% superior al

del aceite no ecológico en los establecimientos de más de 100 m² (MARM 2010c), mientras que en 2011-2012 este diferencial se reduce a un 40% (MARM, 2012c). Tras una búsqueda de venta on-line de aceite virgen extra en envases de 2 a 5 L, el diferencial de precio, entre 15 marcas convencionales y 15 ecológicas, se reduce a un 4% (Elaboración propia, 2012).

Tabla I.2. Estudios sobre el diferencial de precio entre AOVEC y AOVEE.

Precios medios de aceite AOVEC y AOVEE (≤ 1L de cerámica y cristal) en Grandes superficies, supermercados y pequeños comercios de 11/2002 a 12/2007 (Parras <i>et al.</i> 2011)			
Tipo de aceite	Precio mínimo	Precio máximo	Precio medio
Aceite de oliva virgen extra convencional	4,91 €/l	6,58 €/l	5,56 €/l
Aceite de oliva virgen extra ecológico	6,64 €/l	8,58 €/l	7,62 €/l
Diferencia de precios			2,06 €/l
Precios medios del litro de aceite en Hipermercados y Supermercados de 12/2009 a 6/2012 (MARM, 2010c y 2012c)			
Tipo de aceite	Precio mínimo	Precio máximo	Precio medio
Aceite de oliva virgen extra convencional	2,17 €/l	2,55 €/l	2,36 €/l
Aceite de oliva virgen extra ecológico	3,87 €/l	4,81 €/l	4,34 €/l
Diferencia de precios			1,98 €/l
Precios medios de aceite AOVEC y AOVEE (2 a 5L PET y cristal) a través de venta por Internet (tiendas, agricultores y cooperativas) 11/2012			
Tipo de aceite	Precio mínimo	Precio máximo	Precio medio
Aceite de oliva virgen extra convencional	2,91 €/l	7,13 €/l	5,02 €/l
Aceite de oliva virgen extra ecológico	3,6 €/l	8,85 €/l	5,25 €/l
Diferencia de precios			0,23 €/l

Fuente: Elaboración propia

En los últimos años se ha reducido el precio del aceite de oliva de forma general, así como el diferencial de precio entre convencional y ecológico. Teniendo en cuenta que la mayor parte del aceite se vende en grandes superficies, es de destacar, la significativa reducción que ha tenido el precio del aceite de oliva ecológico en este canal de venta desde 2009, año en el que el precio medio máximo de venta era de 6,23 €/L en supermercados e hipermercados y el precio medio mínimo de 5,73€/L en los supermercados pequeños, encontrando un diferencial de precio de hasta un 132% en los supermercados grandes (MARM, 2010c). Por otro lado, en 2012 el precio medio máximo lo encontramos en los supermercados grandes con un valor de 4,46 €/L y el precio medio mínimo en los hipermercados con un valor de 3,2 €/L, reduciéndose el diferencial máximo hasta un 72%, y siendo el menor diferencial del 34% (MARM, 2012c). La presencia de aceite ecológico se ha reducido en los supermercados pequeños y medianos, que optimizan sus surtidos y prescinden en general de productos ecológicos. Mientras que el aceite convencional se sirve en pet, lata, cerámica y cristal, para el ecológico suelen utilizarse los dos últimos, con un precio de envase significativamente más caro (Parras *et al.*, 2011). Asimismo el convencional ofrece una mayor variedad de tamaños (de 0,25, 0,5, 1, 2 y 5L) mientras que en ecológico se comercializan de 0,25, 0,5 y 1 L. Las CCAA que consumen más aceite ecológico en relación al convencional son Asturias, Castilla y León, Madrid, Navarra y Euskadi.

Según el estudio de Parras *et al.* (2011), la distribución del aceite ecológico por los canales de la gran distribución provoca un aumento de los precios no justificado por cuestiones productivas, sino que al ser un producto que rota poco, el distribuidor lo carga con un excesivo

margen comercial. Según estos autores, una mayor penetración del producto en los distintos canales ofrecería al consumidor mayor disponibilidad y un ajuste de precios dado el aumento de la competencia. Además de los canales convencionales como el híper, súper, tiendas, mercados, gourmet o restauración, existen los canales especializados (Tabla I.3). Mientras que para 2012 la opción más cara son los grandes supermercados y la más barata el hipermercado, la más variada se encuentra en Internet donde el precio mínimo para el aceite ecológico está en torno a los 3,2 €/L coincidiendo con las promociones navideñas y los restos de stock de la campaña anterior, a la vez que se puede optar por la venta directa productor-consumidor. Otra buena opción para el consumidor (relación salud-entorno-calidad-precio) es dirigirse a las cooperativas, mercados y agricultores de su entorno próximo.

Tabla I.3. Canales minoristas especializados (MARM 2012b).

Tiendas ecológicas especializadas
Herbolarios
Asociaciones de consumidores y afines
Venta directa
- Autoconsumo
- Venta directa en la explotación o industria
- Entrega a domicilio
- Ventas de proximidad (mercadillos, ferias, eventos, etc.)
- Ventas on-line

En España, el 75% de los productos ecológicos se vende a través de las tiendas especializadas, mientras que en los hipermercados y supermercados sólo el 20%, esta es una tendencia inversa a la que se da en los países europeos con mayor consumo de este tipo de productos (MARM, 2009b). La presencia de aceite ecológico en un canal de venta masivo como es la gran distribución tiene la ventaja de exponer el producto ecológico a un gran número de consumidores, aumentando su conocimiento y, por tanto, la demanda y la opción de compra en todos los canales de venta, no sólo en supermercados convencionales. Por otro lado, hay que tener en cuenta el efecto sobre el precio que tiene la complejidad de la cadena de comercialización, por la cantidad de eslabones que se van acumulando a lo largo de ella. Esta situación, unida al escaso conocimiento que tiene el consumidor convencional de las características y valores del producto ecológico, hace que la balanza precio-calidad que el cliente percibe esté fuertemente desequilibrada, lo que dificulta la venta de estos productos (MARM, 2012b). Los eslabones que encontramos son: productor, envasador, mayorista y distribuidor minorista (Figura I.20). Por todo esto, es de máxima importancia el asociacionismo entre productores o cooperativas para transformar y comercializar el aceite, así como contratar técnicos comercializadores, de este modo la cadena de valor se simplifica y se retiene parte del precio de coste, pudiendo ajustar el precio de venta al consumidor, que como ya hemos apuntado supone un importante freno. Persiguiendo este mismo objetivo, hay que destacar la importancia de fomentar los canales cortos a nivel local, puesto que el consumidor conoce mejor el producto por cercanía a la zona productora (Mudarra & Alonso, 2006) y la distribución es menos costosa. Según el perfil del consumidor al que nos dirijamos y el tipo de establecimiento o canal escogido para la venta, variará la estrategia a seguir (tipo de envase, tamaño, mensaje, etc.). Por ejemplo, teniendo en cuenta el auge de las aromáticas y el valor

tradicional se podría vender aceite ecológico con D.O.P en Parque Natural y con aderezo de tomillo. Las almazaras y cooperativas deben hacer un esfuerzo para ajustar los precios y aplicar estrategias de comercialización y marketing de cara a desarrollar el mercado interior y exterior en base a cadenas cortas.

En cualquier caso, la información disponible señala la necesidad de optimizar el proceso productivo y de transformación para ajustar el precio de venta, así como concentrar la oferta, desarrollar redes logísticas y adecuar las estructuras de empresa al mercado convencional. En cuanto a los vendedores habrá que poner en marcha campañas de promoción y divulgación y aplicar criterios de marketing a la definición de la oferta, la presentación del producto y la venta del mismo. También es importante que las administraciones y las organizaciones implicadas ofrezcan información y divulgación a través de campañas de consumo en canales oficiales (MARM, 2009b y MARM, 2012b). Las principales tendencias actuales y criterios de elección en alimentación son: el precio, la salud, la calidad, el bienestar, el placer, la comodidad, la facilidad y la rapidez. Sin embargo, estas tendencias varían en función del tipo de comprador, de este modo, un comprador ecológico que se dirige a una tienda especializada se basa en los criterios de salud, entorno y calidad, mientras que un comprador convencional estándar de una gran superficie valorará primero el precio, la comodidad y la calidad, o si se trata de un comprador gourmet primará el placer, la calidad y la comodidad (MARM, 2012b). También variarán los hábitos de consumo en épocas de abundancia frente a épocas de crisis. Los principales segmentos del mercado alimentario son los jubilados y las parejas con hijos, sin embargo, se encuentran en auge los hogares formados por una sola persona y las parejas sin hijos (MARM, 2009b).

Para entender los limitantes que hacen que el aceite de oliva ecológico tenga una tasa tan baja de penetración en el mercado nacional, incluso inferior a la del resto de productos ecológicos, se han emprendido una serie de estudios sobre la demanda de este producto. Revisamos aquí el trabajo realizado por el grupo de investigación de la Universidad de Jaén de forma más detenida (Vega *et al.*, 2011b). Esta evaluación se basa en un análisis cualitativo, mediante el análisis de discurso de cuatro grupos de discusión con personas residentes en Madrid y Sevilla, acompañado por un análisis cuantitativo a través de 800 encuestas personales en seis ciudades españolas. Estos estudios concluyen en primer lugar, que existe una imagen muy buena del aceite de oliva virgen extra ecológico, superior al convencional, que también es muy bien valorado. Además, esta valoración superior se produce tanto en los atributos en los que es mejor, como en los que no está clara su superioridad. El medio ambiente no parece ocupar un lugar central en las motivaciones de compra, sino más bien secundario, precedido por el sabor y la salud. Otros limitantes son el precio, sensiblemente superior, y una menor presencia en los establecimientos de compra habitual donde, además, no suele aparecer junto al producto convencional. A estos factores, que se traducen en mayores costes para el consumidor, hay que añadir otro importante factor limitador de la demanda, no se perciben claras diferencias entre ambos productos; esto es, el ecológico solo se intuye mejor. Por otro lado, existe una falta de confianza en los procesos y símbolos de certificación, de tal forma que no suponen necesariamente una garantía para el consumidor. Se debe modificar la política de distribución, tanto desde la perspectiva de cobertura como de presentación del producto en el punto de venta final. En este sentido, debería aparecer en la sección de aceites, como uno más, y no en

una sección separada de productos ecológicos. El producto se podría presentar como un aceite de especial calidad que además es ecológico y no como un producto ecológico más. Por último, la política de comunicación del producto debería focalizarse en mensajes sencillos, claros, de naturaleza emotiva, centrados en destacar algún aspecto diferencial del producto sobre el convencional y que sea importante para el consumidor, dada la confusión imperante y la escasa motivación del consumidor para profundizar en el conocimiento sobre esta temática.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por otro estudio sobre marketing y alimentos ecológicos (MARM, 2009b). Se destaca la diferencia existente entre el mercado europeo y el español, en cuanto a las tendencias de los consumidores, se subraya la menor conciencia ecológica y el mayor desconocimiento de estos productos por parte del consumidor general. También tiende a desarrollarse el mercado de la cosmética ecológica que puede basarse en el aceite de oliva. El producto ecológico tiende a integrarse a un nivel superior, de mercado sostenible. Aunque el consumidor convencional asocia el término ecológico a más natural, más sano o con mayor sabor, menos del 13% de los encuestados es capaz de identificar el producto ecológico a través de su imagen, sello o logotipo, lo que dificulta su percepción en el punto de venta. No conoce bien qué es y en qué se diferencia de sus homólogos convencionales. Por esta razón, señalan que todos los actores de la cadena de valor del producto ecológico, productores, elaboradores, distribuidores, entidades, asociaciones y organizaciones deben trabajar conjuntamente con las Administraciones públicas para identificar, definir y difundir mensajes claros, sencillos y únicos como primer paso para conseguir en los consumidores actuales y potenciales una conciencia de producto ecológico. Se requiere mejorar el conocimiento y la imagen del producto entre los consumidores convencionales, acercando sus tendencias y necesidades de compra y las características y valores añadidos del producto.

LA SOSTENIBILIDAD COMO CRITERIO AGROECOLÓGICO DE ANÁLISIS

EL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD

La noción de capacidad de sustentación se refiere al máximo de población de una especie que puede ser mantenida en un territorio dado a largo plazo, sin degradar su base de recursos (Martínez Alier, 1991). Sin embargo, la definición oficial más popularizada fue propuesta en 1987 en el Informe Brundtland (United Nations, 1987), según el cual, el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. Desde el punto de vista de la sostenibilidad de la agricultura, ésta puede ser definida como la capacidad de cosechar a perpetuidad cierta biomasa de un sistema que tiene la capacidad de renovarse por sí mismo o que su renovación no está en riesgo (Gliessman, 2002). Desde finales del siglo XX, el desarrollo sostenible es el principio sobre el que se diseñan e implantan los procesos de desarrollo y las políticas públicas, y es el objetivo a largo plazo de la UE. Esta estrategia constituye un marco en el que se pretende que el crecimiento económico, la cohesión social y la protección del medio ambiente se potencien mutuamente. No obstante, este es un tema complejo y controvertido, ya que en el discurso institucionalizado todavía van de la mano el concepto de desarrollo y el de crecimiento. La contradicción no está en que el desarrollo sea ecológicamente insostenible,

sino que la noción de crecimiento económico ilimitado, sí lo es, puesto que los recursos en los que se sustenta son físicamente finitos. A menudo se utiliza el desarrollo sostenible como un simple discurso por parte de los actores económicos y las instituciones públicas (Guzmán et al., 2000; Garrido, 2002; González & Guzmán, 2006; Naredo, 2006; Sevilla, 2006a). El discurso ecotecnocrático de la sostenibilidad presenta los problemas ecológicos y sociales como susceptibles de ser solucionados por la extensión de la ciencia convencional, la tecnología industrial y las “estructuras democráticas” (Sevilla, 2006a); no obstante, tras un discurso medioambientalista, se siguen legitimando y reproduciendo procesos económicos ecológicamente insostenibles. Por otro lado, en cuanto a los factores sociales, aunque la noción de desarrollo sostenible se plantea como objetivos: la integración social, la reducción del desempleo y la pobreza, el acceso a la tierra, la vivienda y los servicios, o la inclusión social, generalmente quedan excluidos, ya que se concibe en el marco del discurso económico clásico, exaltando la competitividad, la fragmentación y la exclusión social. Por ello, es necesario facilitar la consolidación de sujetos que puedan ejercer sus derechos y facilitar la participación de los más excluidos, atendiendo de forma prioritaria las necesidades que éstos plantean (Garrido, 2002). Tanto la crisis ambiental como el concepto de sostenibilidad tienen mucho de construcción social (Buttel, 2000), y surgen en busca de una alternativa a la “Crisis de la Modernidad” (Naredo, 1983).

La sostenibilidad no puede medirse de forma absoluta, sí de forma comparada o en grados, dado que no existe un concepto universal y al mismo tiempo intemporal de lo que es. Se trata de un concepto teórico que debe mutar con el tiempo y el grado de desarrollo de las ciencias que sirven para definirlo, y está culturalmente determinado; lo que hoy es sostenible puede mañana no serlo (González & Guzmán, 2006). Su transformación conceptual se debe en parte al cambio en las teorías ecológicas, puesto que antes se aceptaba la existencia de un equilibrio climático en los ecosistemas, y ahora pesan más las teorías de no equilibrio, con un enfoque de equilibrio continuamente cambiante. Por tanto, no se puede medir la sostenibilidad de un sistema natural artificializado en función de su desviación respecto a un estado natural óptimo. A menudo, la degradación de los sistemas desde un punto natural óptimo, supone un estado irreversible, de no retorno al estado inicial y que puede evolucionar de diversas formas no predecibles, ya que está en función de factores como la aleatoriedad y la incertidumbre. Por otro lado, el concepto de sostenibilidad debe ser aplicado y operativo, no pudiéndose alcanzar todos los objetivos al mismo tiempo (Guzmán *et al.*, 2000). Por último, el manejo sostenible de los recursos debe ser entendido en un sentido procesual, es decir, manejando el ecosistema de forma adaptativa, teniendo en cuenta los cambios que se puedan producir en su dinámica tanto naturales como antrópicos (Holling, 2001). Por ello, los atributos de estabilidad y resiliencia, adquieren una importancia decisiva a la hora de analizar la sostenibilidad (González & Guzmán, 2006). La sostenibilidad está sometida a perturbaciones y presiones constantes de tipo socioeconómico y político, y depende de la escala temporal y espacial que se considere y del objeto a que se aplique, por lo que debe definirse localmente, prestando atención a la diversidad sociocultural y ambiental (Astier *et al.*, 2008).

Desde los años 1980, la Agroecología ha contribuido a promover el concepto de agricultura sostenible, la investigación agroecológica y el desarrollo rural sostenible. Esta disciplina además de estudiar los procesos ecológicos en los agroecosistemas, actúa como un agente de

cambio que busca la transformación social y ecológica para que la agricultura se desarrolle sobre bases sostenibles. A través del conocimiento de la agricultura tradicional en los países en desarrollo, y de la introducción de la dimensión ética y medioambiental en su contexto histórico, empezaron a establecerse las bases de la Agroecología desde la sociología rural y los estudios campesinos (Sevilla, 2006a). Asimismo, Ángel Palerm, al analizar el papel del campesinado en el capitalismo, adelanta las bases epistemológicas de la Agroecología (Sevilla, 2006b). Como expone Sevilla (2006a), al tener la Agroecología como objeto de estudio el agroecosistema, debe abordar tanto los factores sociales como naturales que lo conforman. La agricultura ha de observarse como una intercesión de sistemas de naturaleza ecológica, social y económica, sin embargo, el análisis sistémico y globalizador del manejo de los recursos naturales ha de partir necesariamente de la ecología. Puesto que la sostenibilidad pretende corregir los efectos negativos que el modelo de desarrollo dominante tiene a nivel global, la mejor forma de abordar su evaluación es a través de la perspectiva agroecológica y sus tres dimensiones básicas: la ecológica y técnico-agronómica, la socioeconómica y cultural, y la dimensión sociopolítica.

Las características que definen la sostenibilidad para la Agroecología son (Guzmán *et al.*, 2000):

- 1) Independencia de los elementos de reproducción ecológica, socioeconómica y política.
- 2) Ciclos de materiales y energía del agroecosistema lo más cerrados posibles.
- 3) Utilización de los impactos benéficos que se derivan de los ambientes ecológico, económico, social y político, desde el predio hasta la “sociedad mayor”.
- 4) Aceptación de las condiciones biofísicas que permiten funcionar al ecosistema.
- 5) Mantener las capacidades de regeneración y productivas de los agroecosistemas.
- 6) Valorización, regeneración y/o creación de conocimientos locales.
- 7) Establecimiento circuitos cortos para el consumo.
- 8) Potenciación de la biodiversidad, tanto biológica como sociocultural.

Exponer las herramientas, técnicas y métodos generados desde finales de los años 1970 para evaluar la sostenibilidad sería harto complicado dada la inmensa literatura existente, basada en la ciencia disciplinaria y la investigación analítica concebida con este fin. Por suerte, la Agroecología enmarca de forma clara el tipo de experimentación que se adecua a su enfoque para este tipo de evaluaciones, dejando a un lado no tanto las herramientas analíticas existentes sino más bien los marcos y principios teóricos en los que se sustentan. Spedding (En Sevilla, 2006b: p.224) señala que no hay una aceptación general sobre “el papel de la ciencia en la agricultura” y cómo puede ser mejorada la eficiencia de la misma. El cambio histórico de la agricultura, obliga a considerar como agrarios o no aquellos procesos insertos en un sistema agrícola dentro del cual la agricultura puede ser tan solo una parte. En realidad el estudio de la agricultura abarca más que las ciencias sociales que la configuran y no puede, por consiguiente ser estudiada científicamente, de forma necesaria en todos sus aspectos. Igualmente, la ciencia económica convencional ha elaborado unos principios a los que parece haber atribuido una naturaleza inmutable y absoluta, haciéndoles coexistir y legitimando la degradación de la naturaleza y la sociedad (Sevilla, 2006b). A menudo la ciencia utiliza un conocimiento atomista, mecánico, universal y monista, frente a la alternativa de un conocimiento holista, sistémico, contextualizador y pluralista (Guzmán *et al.*, 2000). La ciencia agroecológica supone la ruptura de las etiquetas disciplinares de la ciencia y la utilización de un enfoque sistémico que permita

capturar las interrelaciones entre los múltiples elementos intervinientes en los procesos artificializadores de la naturaleza por parte de la sociedad para obtener alimentos. Margalef a finales de los años 1960, y más tarde varios ecólogos, proponen analizar el ecosistema como un sistema cibernético, ya que contiene una red informativa que conecta entre sí a los distintos elementos que componen el sistema. El punto de vista “macroscópico”, frente al análisis detallado e independiente de todos los procesos y reacciones, es el más adecuado para discernir las propiedades emergentes que caracterizan a los sistemas complejos. Para comprender la organización de los ecosistemas, además de un uso más extensivo de propiedades y parámetros “macroscópicos”, se debe considerar la casi ilimitada divisibilidad de los sistemas y la asimetría de los subconjuntos (Alcibar, 2003).

No existe ninguna metodología ni herramienta que sea capaz de medir la sostenibilidad de forma absoluta. A menudo sólo se valora la sostenibilidad de una de las partes de la realidad evaluada, desconectada del resto de las partes en las que se inserta. La sostenibilidad de la agricultura abarca muchos aspectos y a niveles muy distintos en el tiempo y en el espacio, por lo que parece ingenuo usar un único método que revele la respuesta a través de un mero valor numérico, y que además, contribuya a cambiar la realidad. No obstante, cierto es que unos métodos más que otros, logran plasmar esa complejidad, sobre todo cuando se trabaja de forma interdisciplinar y transdisciplinar, poniendo en valor el conocimiento local. Debido a que la sostenibilidad recae siempre en el futuro, es imposible saber con certeza cuando un grupo de prácticas agrícolas son sostenibles, sin embargo sí es posible demostrar cuando una práctica se está alejando de la sostenibilidad (Gliessman, 2002). Existen varios métodos para medir la sostenibilidad, pero desde la Agroecología, las metodologías utilizadas aplican este concepto a los agroecosistemas de forma holística y sistémica, sin perder de vista la interconexión con los sistemas que le rodean, y contemplan las variables socioeconómicas y culturales al mismo nivel que las ambientales. También se deben tomar en consideración aquellos estudios centrados en la dimensión técnico-agronómica, dentro de un proceso que tiene como finalidad determinar las bases ecológicas para seleccionar las prácticas más sostenibles para un territorio y diseñar la evaluación de agroecosistemas sostenibles. Ya que aun cuando el enfoque agroecológico comienza prestando atención a un componente particular de un agroecosistema y su posible alternativa de manejo, durante el proceso establece las bases para muchas otras cosas (Gliessman, 2002).

PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN AGROECOLÓGICA

El enfoque agroecológico pretende comprender la complejidad de los procesos biológicos y tecnológicos que suceden durante la producción, y de los procesos socioeconómicos y políticos durante la circulación de los bienes producidos hasta que llegan al consumidor. Debido a que la Agroecología, genera conocimiento en base a la acción social colectiva vinculada al manejo de los recursos naturales, la perspectiva sociológica tiene un papel central tanto en la formulación epistemológica como metodológica (Sevilla, 2002). En la Tabla II.1 se muestran los niveles de análisis y las distintas perspectivas de la investigación agroecológica. Estas unidades de análisis tienen una naturaleza espacial, pero a la vez, constituyen espacios socioculturales y ecológicos, que permiten operativizar las propuestas endógenas de la “localidad” y presentarlas como “faros agroecológicos” para su posible diseminación (Guzmán *et al.*, 2000;

Sevilla, 2002). La técnica principal de investigación es la investigación acción participativa (IAP), que permite aproximarse al análisis de la realidad social, introduciendo un alto grado de implicación y compromiso con la realidad investigada, y constituye un elemento contextual en cuya dinámica se insertan la totalidad de los métodos y técnicas empleados.

Tabla II.1. Sistematización sociológica de los métodos y técnicas de la Agroecología según las perspectivas de la investigación (Sevilla, 2002).

Perspectivas Nivel de análisis	DISTRIBUTIVA (Productiva)	ESTRUCTURAL (Desarrollo)	DIALÉCTICA (Movimientos sociales)
LA EXPLOTACIÓN O PREDIO	Estación experimental. Diagnóstico clínico	La historia predial	La investigación participativa y el desarrollo de
EL ESTILO DE MANEJO DE LOS RRNN	Observación antropológica clásica	Grupo de discusión (manejo técnico-agronómico de un	Estrategias participativas de diseminación
COMUNIDAD LOCAL	Diagnóstico Rural Rápido	Observación participante dirigida a una dinámica de IAP	Diagnóstico participativo
SOCIEDAD LOCAL	Lectura transversal (Transecto agroecológico)	Grupo de discusión (caracterización del discurso)	Estrategias participativas de articulación
SOCIEDAD MAYOR	Planificación rural convencional	Diseños participativos de desarrollo endógeno	Socio-análisis de grupos en asambleas
Nivel de análisis genérico	ENCUESTA	ENTREVISTA	ASAMBLEAS CON DINÁMICAS DE IAP

El presente estudio se enmarca en la perspectiva distributiva, que correlaciona, cuantifica y estructura el objeto de estudio utilizando técnicas cuantitativas en base a un proceso agronómico que no supone un deterioro en los recursos naturales. El análisis del manejo de los recursos naturales o la caracterización de una estrategia de manejo respecto a la biodiversidad desde una perspectiva técnico-ecológica, no es excluyente con la perspectiva socioeconómica y política, al contrario, pueden constituir niveles acumulativos de conocimientos que permiten una indagación cada vez más profunda de la realidad (Guzmán *et al.*, 2000), formando parte de todas las perspectivas y acciones llevadas a cabo, desde el nivel del predio hasta la sociedad mayor. De este modo, aunque el análisis de las cubiertas vegetales en el olivar, se basa en un estudio de caso, es posible iniciar el diseño de estrategias de actuación en los diferentes frentes de los ámbitos económico, sociocultural y político. De este modo, la recogida de datos se hace desde una visión sistémica de integración en otras fases de actuación, que definirá la naturaleza última de la perspectiva prevalente en el curso integral de la investigación (Guzmán *et al.*, 2000). La información recopilada a modo de diagnóstico predial, se corresponde con la geohidroestructura, la bioestructura y la tecnoestructura, teniendo la socioestructura como fase previa y posterior al estudio de caso que analizamos en los capítulos centrales. La presente investigación tiene su precedente en estudios de carácter socioeconómico y de

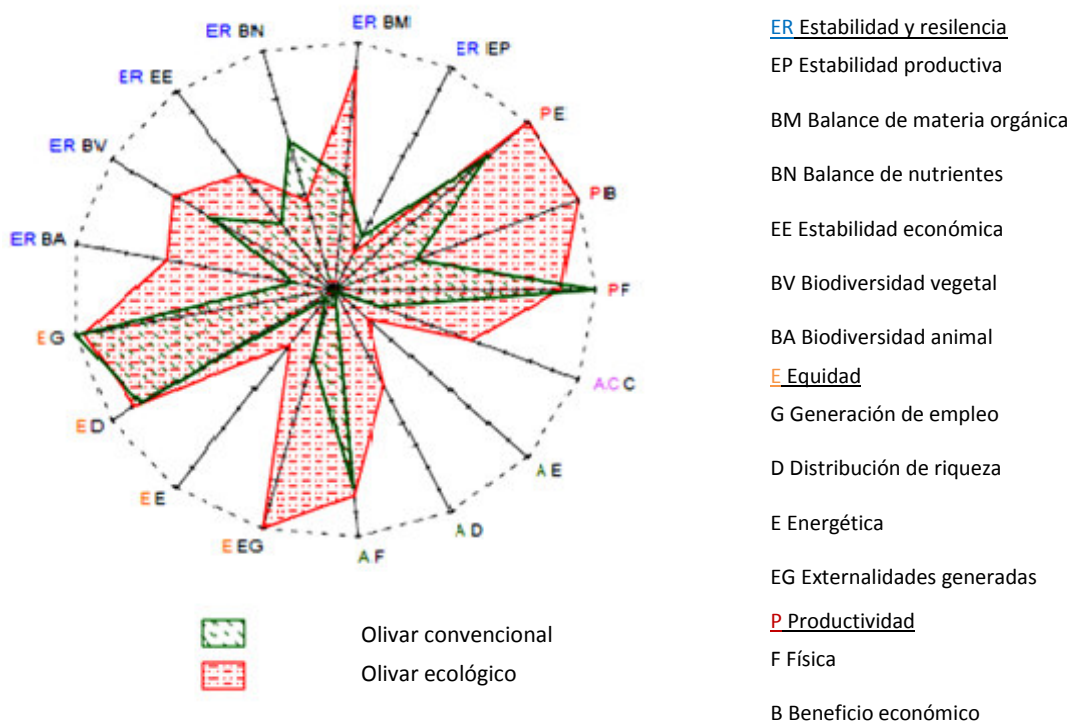
evaluación de la sostenibilidad, y sirve para retroalimentar un proceso en el que se aborda la perspectiva estructural y dialéctica. En la segunda parte de este capítulo, se lleva a cabo un análisis secundario que permite indagar el objeto de estudio, mostrando la relación entre los fenómenos analizados, en términos de la percepción de los sujetos intervinientes en los mismos, y los discursos elaborados por éstos. Se genera así una información cualitativa que dota de sentido sociocultural a los procesos generados en la realidad.

Parte de los resultados obtenidos en esta Tesis, se han estado derivando, en los últimos años, en acciones que trascienden la perspectiva distributiva en la que se centra, a través de proyectos de dinamización, investigación participativa en finca, diagnóstico rural participativo, se ha incorporado en encuestas, entrevistas y discusiones de grupo. Nada de lo que aquí se expone tendría sentido si no se inserta en la estrategia global que acabamos de comentar. Esta manera de proceder implica al investigador de tal modo, que se convierte a menudo en una figura más dentro de un movimiento social crítico junto a los agricultores, en un diálogo recíproco con éstos, que establece una relación simétrica de poder entre el investigador y el agricultor. En esta dinámica el agricultor pasa a ser también investigador y, junto a otros actores sociales interesados, tiene cosas importantes que decir sobre el objeto y producto de la ciencia, generándose así una comunidad extendida de evaluadores, como apunta Martínez Alier, más allá del estrecho círculo de los expertos autorizados. Así es como se materializa la transdisciplinariedad y el pluralismo metodológico y epistemológico que genera más conocimiento y asienta las bases reales de la Agroecología, enriqueciéndola.

PROPUESTA AGROECOLÓGICA PARA LA SOSTENIBILIDAD DEL OLIVAR

Las primeras investigaciones con enfoque agroecológico sobre la sostenibilidad del olivar andaluz parten del Instituto de Sociología y Estudios Campesinos a finales de la década de 1990 en la comarca de Los Pedroches (Córdoba), donde se concentraba entonces el 58% del olivar ecológico de Andalucía. Lo que entonces definieron los investigadores como foco de olivar ecológico (Alonso *et al.*, 2001), ha alcanzado en la última década un desarrollo rural sostenible utilizando como elemento central su potencial endógeno. A partir de un análisis del impacto socioeconómico del olivar ecológico frente al convencional (Alonso & Guzmán, 2003; Alonso, 2003), se desprende que, muchos olivareros optan por el manejo ecológico, por la pérdida de rentabilidad de los olivares convencionales y el deterioro de los recursos naturales. También apuntan que el manejo ecológico del olivar contribuye positivamente al desarrollo rural de la comarca, obteniendo beneficios adicionales respecto al manejo convencional y creando empleo (Figura II.1). Destaca la importancia en la zona del ganado, que estimula la demanda de pienso ecológico y el incremento de la superficie de cultivos extensivos, pastos y dehesas. Varios estudios evalúan la sostenibilidad del olivar Los Pedroches en base al método MESMIS (Alonso, 2003; Sánchez, 2003; Alonso & Guzmán, 2004a; Alonso & Guzmán, 2006), y aunque los indicadores utilizados son un tanto distintos, existen claras coincidencias para la mayoría de ellos (Tabla II.2). En 2011, esta comarca cuenta con cerca de 13.000 has de olivar ecológico, siendo un referente a nivel europeo (IEC, 2009). Han conseguido rentabilizar un olivar tradicional de baja productividad aunando tradición, conservación y nuevas tecnologías, diversificando las actividades económicas y dinamizando el mercado ecológico.

Figura II.1. Integración gráfica de los indicadores de sostenibilidad en el olivar ecológico y convencional de Los Pedroches (Alonso & Guzmán, 2004a y 2006).



Al mismo tiempo, se emprenden estudios similares en otras zonas olivareras evaluando la sostenibilidad de forma comparada en base a análisis de flujos de energía y materiales, utilizando el método MESMIS y con caracterizaciones estructurales y tecnológicas (Serrano, 2001; Guzmán *et al.*, 2002a y 2002b; Alonso *et al.*, 2002a; Guzmán & Alonso, 2004a y 2004b). En base a la información recogida en las 244 entrevistas realizadas en los estudios mencionados (Los Pedroches, Iznalloz, Sierra Mágina y la provincia de Granada), se aborda la sostenibilidad del olivar (Alonso & Guzmán, 2004b) a través de los siguientes atributos.

Productividad: Se define como el producto obtenido por unidad de recurso empleado, y se puede medir en base a la tierra, al trabajo, al capital, a la energía (Conway, 1986) o al agua (Guzmán *et al.*, 2002b). La productividad o eficiencia energética es la cantidad de energía obtenida por unidad de energía no renovable utilizada. La progresiva sustitución de la energía renovable por un elevado uso de insumos industriales está reduciendo la eficiencia energética de la producción agraria y de la producción de aceite de oliva en particular (López & Naredo, 1996; Alonso, 2003; Alonso *et al.*, 2008).

Autonomía: Es la capacidad del sistema para suministrar flujos de materiales, energía e información de forma interna y externa, así como el grado de control que se tiene sobre dicho movimiento. Desciende cuando se incrementa la necesidad de recursos externos y cuando se reduce la salida final de producto hacia el mercado, así como el control que se tiene sobre este

proceso. La autonomía energética muestra el grado de dependencia que tiene el olivar de la energía externa a su entorno.

Tabla II.2. Resultados de los estudios realizados sobre la sostenibilidad del olivar ecológico y convencional en la comarca de Los Pedroches (Córdoba).

Provincia/ Comarca	Tipo olivar	Atributo	Criterio/Indicador	ECO	CONV	Referencias bibliográficas
Córdoba Los Pedroches	Tradicio nal de secano	Productividad	Rentabilidad	+	-	Alonso, 2003
			Eficiencia energética	+	-	
			Rendimiento	-	+	
		Estabilidad	Diversidad económica	+	-	Alonso & Guzmán, 2003
			Dependencia subsidios	-	+	
			Balance de materia orgánica	+	-	
		Autonomía	Consumo energía fósil	+	-	Alonso & Guzmán, 2004a
			Uso de recursos locales y propios	+	-	
		Resilencia	Diversidad de flora	+	-	Alonso & Guzmán, 2006
			Diversidad de fauna	+	-	
		Equidad	Externalidades negativas	+	-	
			Distribución	+	-	
		Adaptabilidad	Recursos reproducibles	+	-	
ACCIONES EN FINCA		OBSTÁCULOS		ACCIONES A NIVEL LOCAL		
Aumento de la fertilización		Dudas sobre el manejo de cubiertas: Momento de eliminación; Qué especies sembrar; Cómo controlarla; Qué ganado utilizar; Cómo manejar el ganado		Maduración y compostaje del alpeorujo		
Aplicación de materia orgánica				Planificación de la investigación		
Siembra de abonos verdes				Planificación de la formación		
Trampeo para la mosca				Planificación de la extensión agraria		
Picado restos de poda		Deficiente balance de		Fomento de energías renovables		
Introducción de ganado		La maquinaria consume mucha ENR*		Fomento de reciclado de residuos		
		Sostenibilidad ambiental y energética limitada		Asociacionismo para compra de maquinaria, envasado y comercialización de aceite		

Contribución positiva (+) o negativa (-) a la sostenibilidad. ECO: Ecológico; CONV: Convencional. ENR*: Energía no renovable

Estabilidad y resiliencia: El primero se refiere a la capacidad de un agroecosistema para mantenerse en equilibrio ante las fluctuaciones del medio ambiente circundante, a la vez que es capaz de combatir los rendimientos decrecientes sin añadir cantidades crecientes de energía y nutrientes. La estabilidad, está relacionada con el suelo, y se puede evaluar a partir del balance de materia orgánica, que es menos favorable para el olivar convencional debido a un escaso uso de enmiendas orgánicas, al laboreo intensivo o al manejo con suelo desnudo y

aplicación de herbicidas. La resiliencia se refiere a la habilidad de mantener la productividad cuando está sujeta a una mayor fuerza de perturbación que, puede estar causada por procesos internos o externos. En los sistemas con baja diversidad, la capacidad de regresar a su estado de equilibrio después de sufrir una perturbación es menor.

Equidad: Se mide el grado de acceso al poder y a los recursos naturales, y si estos son suficientes y están distribuidos de forma que cubran las necesidades básicas de todos los miembros de la organización social. Esto es, la capacidad del sistema de distribuir, de manera justa, los efectos positivos y negativos del olivar en la sociedad (equidad externa), y para las generaciones futuras (equidad intergeneracional). Ambas dimensiones confluyen en los aspectos relacionados con el deterioro del medio ambiente, esto es, las externalidades negativas de la agricultura que más adelante se analizarán en base a esta y otras publicaciones. La equidad también se puede medir en función de la energía no renovable utilizada.

Adaptabilidad cultural: Es la adaptabilidad del sistema al entorno económico y biofísico, por procesos de innovación, aprendizaje o de recuperación de técnicas tradicionales, así como del conocimiento asociado a las mismas. A menudo estas prácticas tienen un origen científico y tradicional, y suponen que, la mayor parte del coste del tratamiento sea reproducible, señalan una alta capacidad de innovación y adquisición de conocimientos.

La olivicultura ecológica ha promovido en los últimos años una serie de innovaciones tecnológicas cuya implantación y extensión muestra la capacidad de adaptación de estos agroecosistemas. Se trata de un enfoque innovador, en constante búsqueda de técnicas de producción sostenible de alimentos y productos adaptados localmente. Los olivieros están adoptando lentamente las prácticas que mejor se adecuan a cada región (Labrador, *et al.*, 2010). Algunas innovaciones han sido generadas por los agricultores, y otras han sido recuperadas de las prácticas tradicionales y adaptadas a la situación actual. Este hecho muestra que, los agricultores son la solución de sus problemas técnicos en la gestión de los olivares ecológicos. Algunas de estas innovaciones son el uso de la Trampa Olipe para la captura masiva de la mosca del olivo (Caballero, 2001; Alonso, 2003), desarrollada y adaptada a partir del conocimiento tradicional para reducir costes. También surge de la observación, el uso de caolín para evitar la picada de la mosca. Asimismo, una técnica característica de la olivicultura ecológica es el uso de cubiertas vegetales, que se abordará en los siguientes capítulos. Otras innovaciones adoptadas desde la olivicultura ecológica son las siguientes.

El compost de alpeorujo. La producción de aceite no exporta prácticamente nutrientes edáficos, permaneciendo la mayoría de ellos en los residuos de la almazara. El compostaje del alpeorujo con algo de estiércol da lugar a un fertilizante orgánico de buena calidad que excede las necesidades del olivar si éste se cultiva acompañado de forma estacional con una cubierta de leguminosas. Este hecho, pone de manifiesto el alto valor agroecológico del olivar, y su relevancia en los flujos de materiales y energía en el territorio. El uso del compost de alpeorujo como fertilizante ya se recomendaba en 1881, y se utilizaba en zonas oliveras como Mancha Real (Jaén) (González & Guzmán, 2006). Tradicionalmente, el orujo generado en la almazara tenía un uso energético, mientras el alpechín era vertido en los cauces hídricos, o almacenado en balsas, originando contaminación difusa. A raíz del establecimiento de la tecnología de dos

fases en las almazaras, los residuos se manejan con mayor facilidad por su bajo contenido en agua. La importancia del compost de alpeorujo es principal, debido a la escasez de estiércol, siendo la forma más sostenible de nutrir al olivar. Reciclando este subproducto como enmienda, se reducen los problemas de gestión y eliminación, los costes derivados, y los riesgos medioambientales, y se convierte en un recurso. La producción de alpeorujo representa el 29,3% de los residuos agrícolas y ganaderos generados en Andalucía (Álvarez, 2011). Asimismo, su uso como fertilizante, contribuye al ajuste del balance de nutrientes en el olivar y a nivel local, aumentando la autonomía, el contenido de carbono en los suelos (García & Gómez, 2011), un ahorro económico y energético, y un ingreso extra en caso de poder comercializarlo. Cabe destacar la relación existente entre el aumento de la superficie de olivar ecológico y la implantación de plantas de compostaje en almazaras dentro del mismo municipio, p.ej. en Guadalcazar, Castro del Río, Baena, Santaella, Posadas y Pozoblanco, en la provincia de Córdoba, y Alcaudete en Jaén (CAP, 2012).

Integración del ganado ovino en el olivar para el control de las cubiertas. La integración de los sistemas ganaderos y agrícolas aumenta la sostenibilidad ya que contribuye a cerrar el ciclo de nutrientes y aumentar la eficiencia energética. El ganado ovino es poco selectivo y puede consumir pastos muy cortos, además de alimentarse de hoja verde y seca, hoja de almazara, aceituna, varetas y alpeorujo. Se trata de una práctica tradicional en el caso de Los Pedroches o en la Sierra Norte de Sevilla, donde más del 80% de los olivareros integran el ganado de forma temporal. En estas comarcas el ganado rota entre las dehesas y el olivar en función de la época del año y la disponibilidad de recursos (García Trujillo, 2001). En otras zonas tradicionalmente se introduce ganado en el olivar de forma estacional como en Sierra Mágina, donde un 13% de los olivareros introduce ganado para llevar a cabo la fertilización además de conseguir eliminar la hierba adventicia (Alonso *et al.*, 2002a). En otros lugares su introducción podría darse sin dificultad como por ejemplo en la Sierra de las Nieves o en la Sierra de Castril. Sin embargo, muchos olivareros se niegan a permitir la entrada del ganado en sus tierras por miedo al posible daño que les pudiera ocasionar (AADGE, 2000). Se ha determinado que, con un manejo adecuado se aprovechan los recursos del olivar sin perjudicar a la producción de aceite (AADGE, 2000). Desde el punto de vista del olivar, el ganado debe permanecer a lo sumo un mes y medio o dos en primavera, evitando el pastoreo si el suelo está demasiado húmedo. En el caso de tener una cubierta sembrada de leguminosas y gramíneas para el ganado en olivares ecológicos, se puede obtener una renta adicional al comercializar la carne o la leche como productos ecológicos. Así, los ganaderos podrían reducir sus gastos en alimentación, aumentando de esta forma la eficiencia económica y energética actual de los rebaños (García Trujillo, 2008b). El periodo medio de permanencia recomendado está entre 90 y 120 días (AADGE, 2000; Sánchez, *et al.*, 2011), dependiendo de los años, con una carga ganadera media de 0,5 UGM/ha (3-4 ovejas/ha).

Adaptación tecnológica de la maquinaria. En relación a las innovaciones tecnológicas resulta de gran interés comentar el caso del Eco-Arado, inspirado en el arado criollo de punta de corte vertical, y la búsqueda de una herramienta que no dañara los suelos como ocurre en los sistemas de arado convencional. La tecnología de labranza horizontal se utiliza desde 1996, y en Andalucía se han hecho varias pruebas en almendro y olivar en la provincia de Granada obteniendo buenos resultados para manejar la cubierta vegetal en almendros y olivos, también en suelos pedregosos o muy compactados. Al mantener los residuos en superficie, no

voltear el suelo y quedar las raíces en su sitio, los procesos erosivos se reducen en comparación al arado convencional. Además, a la vez que descompacta en profundidad no crea suela de labor porque realiza la fuerza de abajo hacia arriba (García Trujillo, 2008a).

EXTERNALIDADES NEGATIVAS DEL OLIVAR

La pérdida de suelo. El olivar en Andalucía sufre una situación grave de erosión hídrica, mecánica, y de contaminación difusa debido a las condiciones geoclimáticas y a un manejo de suelo inadecuado. Por todo ello, se ha extendido el uso de cubiertas vegetales y no laboreo, y se está fomentando la integración de ganado en olivares de montaña. Tal como apuntaba el gerente de la OCA de Baena “...el no laboreo es una cosa que se va extendiendo cada vez más, y es que la gente ve que es beneficioso para su explotación (...); hay gente que entra a la cubierta vegetal sólo por las subvenciones, pero como la finca mejora notoriamente se convence rápidamente (...) En los cursos se va viendo la preocupación de los agricultores por el suelo” (Gallar & Alonso, 2004). La información disponible, indica que muchas zonas olivareras experimentan pérdidas de suelo que superan el límite tolerable, originando pérdidas significativas de nutrientes y materia orgánica y provocando daños externos graves, como el empobrecimiento de la calidad de las aguas superficiales a la que vierten, aterramiento de embalses y cauces fluviales y contaminación por sustancias agroquímicas en los embalses (Gómez & Giráldez, 2009). Para paliar los efectos negativos de la erosión en relación al manejo del suelo existen una serie de requisitos agrarios y medioambientales de obligado cumplimiento (BOJA, 2008). Sin embargo, en base a los estudios, y teniendo en cuenta los beneficios que aporta la cubierta como técnica de conservación del agua y del suelo en el olivar (Zuazo y Pleguezuelo, 2008; Durán *et al.*, 2009; Gómez *et al.*, 2009a y b; Gómez *et al.*, 2011), las medidas que se proponen desde la condicionalidad son insuficientes, y suponen un muy tímido avance ante el grave problema de erosión que sufre el olivar andaluz, que requiere estrategias más exigentes, adaptadas localmente y planificadas con un enfoque territorial.

La contaminación de los recursos hídricos. La contaminación difusa conlleva el incremento del contenido de nutrientes en el agua y la presencia de residuos de plaguicidas, a la vez que, el incremento de sedimentos, promueve la eutrofización de las aguas dulces. El nitrógeno, se pierde contaminando las aguas superficiales y profundas (Hermosín *et al.*, 2008), y cerca del 50% de los embalses regionales de la cuenca del Guadalquivir presentan un estado eutrófico, o bien tienden hacia dicho estado (MMA, 2005). Los nutrientes pueden moverse en aguas de drenaje y/o lixiviación, afectando a las aguas subterráneas, o bien mediante procesos de erosión y escorrentía, afectando a los flujos de agua superficial (Hermosín *et al.*, 2013). Asimismo, se acentúan estos efectos las zonas olivareras implantadas en laderas que vierten directamente a embalses, importantes cantidades de agua y sedimentos. En Andalucía, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir detecta de 2004 a 2007: Simazina, Endrín, Aldrín, Terbutilazina, Isodrín, HCH, Atrazina, Dieldrín, Diurón y Clorpirifos (MMA, 2007). Un escenario de alto riesgo lo constituye el uso de herbicidas en el olivar, causando numerosos episodios de contaminación de embalses y acuíferos, causando problemas para el medio ambiente y la salud pública, afectando al abastecimiento de agua potable. En un estudio sobre la concentración de varios herbicidas en relación al impacto de la olivicultura en la cuenca del Guadalquivir (Hermosín *et al.*, 2013), en 2003, las concentraciones de Diuron, Simazina y Terbutilazina estaban muy por encima de los límites recomendados por la UE para el agua

potable (0,1 µg/L). Aunque en 2010 estas concentraciones fueron significativamente menores, la presencia de Terbutilazina seguía por encima de los límites tolerables en aguas superficiales y subterráneas, en algunos puntos de muestreo de la provincia de Jaén, Córdoba y Sevilla. Las máximas concentraciones de herbicidas se registran coincidiendo con los periodos lluviosos. Los suelos de olivar, pobres en materia orgánica, favorecen los procesos de percolación o lixiviación y el arrastre superficial de los agroquímicos hacia aguas subterráneas y superficiales. El riesgo de contaminación de acuíferos se agrava cuando el empleo de plaguicidas es continuado en espacio y tiempo, en zonas de monocultivos en pendiente, y más aún cuando se aplican el manejo de mínimo o no laboreo, que conlleva un incremento en la utilización de productos fitosanitarios. El manejo de los suelos de olivar con cubierta vegetal o restos de poda se propone como una vía sostenible para reducir la erosión y el riesgo de contaminación de las aguas superficiales por arrastre de los residuos y los nutrientes (Hermosín *et al.*, 2008).

La disponibilidad de agua. Por otro lado, en relación a las aguas destinadas al riego, y tal como exponen Testi *et al.*, (2009) el efecto más evidente del aumento de la superficie en regadío, es la sobreexplotación de acuíferos (extracciones superiores al 80% de las recargas naturales). Otras masas de aguas subterráneas situadas bajo territorios de olivar han sido declaradas como en 'riesgo de sobreexplotación' (extracciones superiores al 60% de las recargas naturales). Esta situación supone un incremento de los costes de extracción, y la bajada del nivel freático, que afecta negativamente a distintos ecosistemas acuáticos, que ven mermada su calidad ecológica por las extracciones antrópicas del recurso. La expansión del riego del olivar ha tenido un impacto favorable en la renta agraria, sin embargo, esto ha incrementado la demanda de agua asociada al riego y ha provocado la merma e incluso desaparición de manantiales y del flujo base de algunas partes de la red fluvial. Además, cuando la expansión se ha producido a costa de antiguos olivares abandonados o de espacios naturales que han sido sustituidos por olivares modernos, se ha perdido biodiversidad y han aumentado los fenómenos erosivos, frecuentemente asociados a prácticas agrarias inadecuadas. Desde el punto de vista de la gestión de la cuenca del Guadalquivir, ésta se ha visto sometida a una presión que le ha llevado cerca de los límites de la sostenibilidad. En cualquier caso, la nueva situación en la gestión del agua de la cuenca, implica que los esfuerzos deben dirigirse a cumplir los objetivos ambientales impuestos por la legislación, garantizando también el suministro a la población y las actividades económicas que dependen de éste. Esto deja un margen prácticamente nulo para nuevas expansiones de regadío, quedando siempre las meras posibilidades de cambios de cultivos, lo que en aquellos casos en que se optimicen los rendimientos, podrían decantarse a favor del olivar, que alcanza, un buen resultado económico con un uso estricto del agua (Muñoz-Cobo *et al.*, 2005).

La emisión de gases de efecto invernadero. Los efectos negativos que supone el calentamiento global, y las evidencias científicas que apuntan al cambio climático como una realidad frente a la que se debe actuar con celeridad, han promovido numerosas investigaciones en torno a las prácticas agrícolas que resultan en una menor emisión de dióxido de carbono, óxido nitroso y metano, y a la vez actúen como sumidero de estos gases, principalmente de CO₂. Muchas de las prácticas de manejo consolidadas en la agricultura ecológica son aquellas propuestas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: reducir los insumos de síntesis química, incrementar los niveles de materia orgánica, uso de cubiertas vegetales, reducir la frecuencia e intensidad de las labores del suelo y sincronizar la disponibilidad y demanda de nutrientes. Por

ejemplo, si se asume una tasa neta anual de 250 kg C/ha de secuestro de carbono orgánico derivado de la presencia de cubierta vegetal para el conjunto de los olivares de Andalucía, supondría la retirada anual de 375.000 toneladas de CO₂ de la atmosfera (García & Gómez, 2011) con un valor de 6,35 millones de euros, según la estimación realizada por Rodríguez-Entrena *et al.*, (2012). Asimismo, la concentración de carbono orgánico en el suelo es mayor en olivares manejados con cubierta vegetal (Castro *et al.*, 2008), y en los ecológicos frente a los convencionales, aumentando estas diferencias cuantos más años tienen con la certificación y cuantos menos pases de labor al año se realizan (García-Ruiz *et al.*, 2008). Además, al reducirse la erosión por la implantación de cubiertas vegetales se reduce la pérdida de carbono orgánico desde el suelo, en 227 Kg C/ha (Gómez *et al.*, 2009b). El no laboreo, mejora significativamente las propiedades del suelo, presentando un mayor contenido de carbono y un alto potencial en la gestión del suelo para el secuestro de carbono, especialmente cuando se maneja con cubierta vegetal (Nieto *et al.*, 2012).

La degradación de la diversidad genética. Esta degradación está muy vinculada a la propagación del monocultivo con suelo desnudo en extensas áreas. Entre las ventajas de la diversidad genética se encuentra la resistencia a plagas y enfermedades, la alta eficiencia energética en el aprovechamiento de los recursos, la adaptación a las condiciones ambientales locales y la rusticidad, así como la utilización de germoplasma para conferir características deseables a nuevas razas y variedades (Alonso & Guzmán, 2004b). En España se cultivan más de 300 variedades de olivo, resultado de muchos años de difusión y selección, y en Andalucía, hay descritos 156 cultivares (Barranco, 1982 y 2008), y existe una abundante variación alélica y una alta diversidad genética en los cultivares locales y olivos silvestres. Belaj *et al.*, (2010) determinan que en Andalucía, las poblaciones de olivo silvestre conforman un clúster genético separado e independiente del resto de los olivares cultivados en otras regiones, así como del resto de las poblaciones de olivo silvestre. Esto sugiere que las poblaciones silvestres de olivo en Andalucía pueden representar verdaderos acebuches silvestres y no formas ferales, y constituir un recurso genético al contener caracteres resistentes a patógenos y a condiciones bióticas y abióticas adversas, o ser fuente de agentes de control biológico. En Andalucía, el 92% de la superficie de olivar lo ocupan Picual (59,5%), Hojiblanca (17,1%), Manzanilla Sevillana, Lechín de Sevilla, Picudo, Nevadillo negro y Arbequina, esta última en aumento por utilizarse en plantaciones superintensivas; mientras que otro 5,3% de la superficie está ocupado por ocho variedades (CAP, 2008). Un ejemplo de la tendencia reductora de la variabilidad genética es la provincia de Jaén, donde el 98,6% de la superficie está ocupada la variedad Picual. La incertidumbre en el sector y la creciente presión ambiental y socioeconómica, hacen deseable que esta diversidad no siga reduciéndose, ya que es necesaria para innovar y mejorar los olivares de cara al futuro (Trapero *et al.*, 2011; Campos, 2011). El actual manejo del olivar no solo reduce la diversidad genética del cultivo, sino también la de aquellas plantas y animales asociados a este agroecosistema, lo que le confiere una menor estabilidad frente a las perturbaciones.

Efectos nocivos sobre los seres vivos. Abundan los estudios sobre el papel que tienen en la salud humana los agroquímicos, y aunque a menudo, las evidencias no son contundentes, sí se advierten claras tendencias asociativas (Tabla 1 del Anexo A). Las relaciones más probadas son las que afectan a agricultores y profesionales expuestos directamente a los pesticidas. Sin embargo, muchos de estos compuestos son solubles en grasas, y sus residuos se detectan en el

aceite y en las aceitunas en cantidades mínimas, hecho que toma relevancia si se tiene en cuenta que muchas de las alteraciones biológicas son producidas a dosis sensiblemente inferiores a las descritas como tóxicas en humanos. Además, el peligro de estas alteraciones puede radicar también en algunos productos intermediarios que se usan en la elaboración de pesticidas (Villarrubia *et al.*, 2006). En los estudios referidos, la tendencia al incremento de la incidencia tumoral está relacionada con la intensidad y duración de la exposición a los pesticidas.

Por otro lado, es destacable la selección que los herbicidas provocan en la flora, presentándose un menor número de especies, resistentes a ciertas materias activas y una menor cobertura vegetal. En cuanto a la fauna microbiana se ha demostrado que los suelos de los olivares ecológicos muestran una mayor actividad de la misma que en los convencionales (García Ruíz, *et al.*, 2009; Herencia, 2011). El uso de plaguicidas causa la reducción en las poblaciones de insectos auxiliares y aves (Cirio, 1997; Ruiz, 1998; Quesada *et al.*, 2009), mientras que el manejo ecológico fomenta su abundancia (Cotes *et al.*, 2009 y 2010; Duarte *et al.*, 2009).

BALANCE ECONÓMICO Y ENERGÉTICO

En el marco del programa sobre modelos experimentales de olivar adehesado en las zonas olivareras de montaña en Andalucía, Gaitán *et al.*, (2011) analizan la viabilidad económica del olivar ecológico, convencional y adehesado en la Subbética cordobesa. El estudio concluye que, la conversión a ecológico genera mejores resultados respecto al convencional de referencia, y el mejor balance económico se obtiene cuando se introduce el ganado en su manejo, reduciendo los gastos y aumentando los beneficios. También cabe destacar el mayor porcentaje en mano de obra familiar de la que hacen uso los sistemas ecológicos y adehesados (García Trujillo, 2008b). El estudio concluye que una parte del olivar andaluz es susceptible de incrementar su rentabilidad con esta reorientación del sistema productivo sin un gran esfuerzo puesto que, por sus propias características se presta a ello en las zonas de montaña.

En un estudio comparativo del olivar en Andalucía (Tabla II.3) se concluye que la eficiencia de la energía no renovable invertida es un 25% mayor para el cultivo ecológico. El gasto de energía en el riego, supone más del 30% del gasto total en ambos manejos. El consumo de productos industriales por parte de los olivareros convencionales es un factor decisivo en la consecución de eficiencias de la energía no renovable más bajas respecto a los ecológicos. De ahí la elevada importancia relativa que puede tener el uso de enmiendas orgánicas, y como se puede reducir el indicador de eficiencia energética en los olivares ecológicos en los que se practica la simple sustitución de insumos aunque el uso de maquinaria pueda ser menor.

Tabla II.3. Resultados socioeconómicos de ocho olivares, ecológicos (ECO) y convencionales (CONV) en Andalucía (Alonso *et al.*, 2008).

	Rendimientos		Precios (€/Kg)		Ingresos (€/ha)		Costes (€/ha)		Mano de obra	
Casos	ECO	CONV	ECO	CONV	ECO	CONV	ECO	CONV	ECO	CONV
1	853	984	0,36	0,36	797	556	427	432	9,8	10,1
2	2315	2420	0,43	0,37	1834	1609	1217	1056	21,3	18,5
3	3648	3709	0,43	0,37	2790	2460	1667	1675	25,4	25
4	2923	3000	0,44	0,29	2347	1784	1240	1109	26,6	21,3

En otra interesante publicación sobre el olivar ecológico se evalúa la sostenibilidad de forma conjunta del olivar en Sierra de Segura, Beas de Segura, Granada, Sierra Mágina, y Los Pedroches, a través de un análisis económico (Alonso, 2011) y energético (Guzmán & Alonso, 2011), comparando la olivicultura ecológica con la convencional a través de la información recopilada en más de 270 encuestas. Los resultados del balance energético comparado determinan que, la olivicultura ecológica frente a la convencional: aumenta *la autonomía* por reducir el consumo de petróleo y aumentar los reempleos; aumenta *la estabilidad* a través de la fertilización orgánica y la mejora del suelo a nivel físico-químico y biológico; aumenta *la equidad* por reducir la emisión de gases contaminantes y reducir la erosión del suelo al aumentar la materia orgánica contenida y el uso de cubiertas vegetales; aumenta *la resiliencia* al aumentar la biodiversidad edáfica y demuestra una mayor adaptabilidad cultural. Sin embargo, el estudio destaca que todavía hay margen de mejora en lo relacionado con el aumento de los reemplazos y el cierre del ciclo de nutrientes. Se hace hincapié en la progresiva disminución, a largo plazo, en cuanto al aporte de materia orgánica necesaria para mantener el sistema con la misma producción, debido a la acumulación de humus en el suelo, reduciendo el aporte de energía externa y por tanto mejorando la eficiencia en su uso. También es importante ajustar al máximo el número de pases de maquinaria para el control de hierbas. Además, se pone de nuevo de manifiesto que la tecnología que más compromete la eficiencia energética, especialmente la no renovable, es el riego. Así, teniendo en cuenta que el agua es un recurso cada vez más escaso en el área mediterránea, podría ser cuestionable su empleo en un cultivo adaptado al seco, sobre todo cuando va unido a una sobreexplotación de los recursos hídricos y, por tanto, al uso insostenible de este recurso.

El balance económico determina que, las diferencias de rendimiento entre ambos sistemas son relativamente pequeñas, y están influidas por el tiempo transcurrido desde el inicio de la conversión; la intensidad de las labores previas y la idoneidad del nuevo manejo. Un óptimo manejo de la fertilización y del control de hierbas determina en gran medida la consecución de buenos rendimientos. Sin embargo, es muy importante el desarrollo del mercado, promocionarse, mejorar la comercialización diferenciada y obtener un mejor sobrepeso, que puede oscilar entre el 16-52%. En muchos casos, las relaciones comerciales internacionales, han supuesto la profesionalización de muchas almazaras. Los ingresos en el olivar dependen de la venta de aceitunas; las subvenciones; el arrendamiento de las cubiertas; la venta de leña y la venta de alpeorajo u orujo. La alta dependencia de las subvenciones es una de las debilidades del cultivo del olivar, representando en torno al 40% de los ingresos totales en las zonas más productivas, y entre un 5% y un 18% para la subvención ecológica, en zonas de regadío y seco respectivamente. Por otro lado, los costes están determinados por el grado de intensificación previa a la conversión, la nueva estrategia de producción, la disponibilidad de tecnología y la información y el asesoramiento técnico. El estado inicial del suelo determinará la mayor o menor inversión necesaria para mejorarlo. Asimismo, basar la fertilización en la simple sustitución de insumos repercute en mayores costes, sobre todo para los fertilizantes nitrogenados, no tanto para los potásicos. Aumentar la fertilidad mediante el mantenimiento de cubiertas vegetales es una estrategia barata, mientras que aumentarla mediante el uso de compost o estiércol requiere maquinaria específica, ya que el esparcido manual dispara los costes en mano de obra, sobre todo en olivares de alta pendiente. El control de la hierba conlleva un coste importante tanto en olivares ecológicos como

convencionales. La recolección, la poda y el desvareto son las labores que más mano de obra requieren, y este factor aumenta el gasto en el olivar ecológico debido al control de la mosca con trapeo, el control de hierba, y la aplicación de fertilizantes al suelo. Por último, los beneficios son superiores para el olivar ecológico, aunque existe una gran variabilidad: son menores en ecológico cuando hay un excesivo gasto en laboreo, fertilización y control de plagas. Sin embargo, normalmente son superiores debido al precio diferencial, el asesoramiento técnico, la aplicación de tecnologías reductoras de costes y las subvenciones específicas, resultando en un mejor balance económico.

Las propuestas de mejora a nivel de finca pasan por la adición de materia orgánica, teniendo en cuenta, cuánta, cuándo y cómo aplicarla para no incurrir en pérdidas, y/o la siembra de abonos verdes. A nivel local las mejoras pasarían por compostar el alpeorujo para destinarlo a la fertilización del olivar. Sería deseable que los productores se asociaran para adquirir maquinaria, envasar y comercializar de forma conjunta, reduciendo los costes de producción e incrementando el valor añadido. A nivel de las políticas agrarias, se debería intentar dar respuesta a las propuestas a nivel de finca y locales. Asimismo, impulsar la investigación para generar conocimiento técnico, la formación y extensión agraria para la toma de decisiones de los agricultores, que repercutiría finalmente en una reducción de costes de producción. También, fijar la cuantía de la medida agroambiental en función de los costes de producción y los servicios ambientales.

ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS, CULTURALES Y POLÍTICOS

Los estudios agroecológicos de carácter social o económico suponen una acumulación de información primaria que, junto a los estudios de tipo ecológico-agronómico dan finalmente sentido sociocultural a los procesos generados en la realidad agraria, sean naturales o sociales. La sostenibilidad del olivar y la riqueza que genera y sostiene el medio de vida de miles de personas en estos sistemas agrarios, están estrechamente vinculadas con la sostenibilidad global de estos territorios y con las políticas que guían su desarrollo. El camino hacia una mayor sostenibilidad de los agroecosistemas, debe apoyarse en estudios científicos agroecológicos para acercar y justificar su viabilidad frente a las instituciones que elaboran los planes de desarrollo rural y diseñan los sistemas de ayudas a través de las políticas agrarias.

En esta línea, Guzmán *et al.*, (2011), a través del método LACAS (Coste de la Tierra de la Sostenibilidad Agraria), y la información registrada en 241 encuestas en varias comarcas andaluzas, concluyen que, la subvención actual sólo compensaría la conversión a ecológico de aquellos olivares de secano con baja producción, y de forma muy ajustada los olivares de secano con una mayor productividad (gestionados con bajas dosis de fertilización). En el resto de áreas de estudio, la ayuda agroambiental es mucho menor que el valor monetario del coste de tierra. Por otra parte, teniendo en cuenta que la mayor parte de las hectáreas de olivar convertidas en Andalucía se corresponden con zonas de olivar de secano en pendiente en zonas montañosas, para fomentar la transformación a ecológico de olivares más productivos debería aumentarse la cuantía de las ayudas. También concluyen en que el aumento en los subsidios directos a los agricultores ecológicos, puede ayudar a fomentar la superficie de olivar certificado pero no necesariamente fomentar una mayor sostenibilidad. Para dar este paso deben aplicarse medidas indirectas para fomentar la creación de plantas de compostaje de

alpeorajo, mantenimiento de setos y el uso de biocombustible en la maquinaria agrícola. Se necesitan investigaciones adicionales en agricultura ecológica para desarrollar tecnologías, ahorro de tierras al optimizar la fertilización orgánica, mejorar el manejo de malas hierbas, identificar la biodiversidad funcional, etc. Así que sigue estando pendiente la decisión de cuánto dinero destinar, cómo distribuirlo para lograr el efecto deseado, a qué cultivos destinarlo y con qué tipo de gestión y también, cómo distribuir esta ayuda entre ayudas directas e indirectas.

Actualmente, el importe de la ayuda agroambiental no diferencia las explotaciones ecológicas por sus características o localización, y tampoco permite asignar una ayuda mayor en determinadas zonas donde, por razones sociales o ambientales, el mantenimiento de la olivicultura se considere imprescindible (PDR 2009; Colombo & Rocamora, 2011). La legislación vigente (BOE, 2007; BOE 2011; BOJA, 2011) contempla instrumentos como los contratos territoriales de explotación y de zona rural, e introduce en el sistema de ayudas públicas, la posibilidad de un reparto asimétrico de los fondos orientados a facilitar apoyo a los olivereros que más lo necesitan. Se trata de contratos entre la Administración y un conjunto de agricultores que se comprometen a cumplir una serie de mejoras, a nivel productivo, ecológico y socioeconómico. Según Colombo & Rocamora (2011) en base a encuestas realizadas en zonas de montaña desfavorecidas por todo el territorio andaluz, estos aspectos se podrían gestionar a través de un contrato territorial de zona rural (CTZR), por lo que se presenta como una herramienta muy útil para las zonas olivereras de montaña, obteniendo aún más beneficios si se basa en el manejo ecológico de los recursos. Según los autores, a pesar del soporte financiero que estos instrumentos puedan necesitar para su creación y consolidación, los CTZR tienen la potencialidad de conglomerar y organizar una masa crítica de productores ecológicos que, a medio y largo plazo, puedan gestionar el conjunto de explotaciones con unos reducidos pagos adicionales.

Para lograr el desarrollo sostenible de un territorio, el modelo debe ser integral y lograr en él un compromiso entre todos los sectores implicados que trascienda las fronteras de las áreas de acción de cada uno (agricultura, ganadería, medio ambiente, agroindustria y artesanía, turismo, etc.). Las acciones emprendidas en el marco de la investigación acción participativa llevada a cabo en el municipio de Castil de la Peña (Granada) son de gran interés en el análisis del desarrollo rural sostenible en torno al olivar y a la agricultura ecológica en Espacios Naturales Protegidos (García Trujillo, 2008b). Este proyecto de dinamización se caracterizó por un intenso trabajo que imprimió a los colectivos sociales y a las entidades locales, la inercia necesaria para que se produjera en la zona un cambio a medio y largo plazo. Los esfuerzos invertidos durante una década y el compromiso de todos, ha resultado con el tiempo en la aparición de un entramado de explotaciones, empresas y actividades (comercialización, agroindustria, venta de cercanía, agricultura, ganadería, restauración, turismo, etc.) que tienen como eje central la producción ecológica y la comercialización y promoción de sus productos y su territorio. En 2009, el municipio cuenta con varias almazaras ecológicas y una superficie de 950 has de olivar calificadas (IEC, 2009).

El escaso apoyo institucional, los recortes en las ayudas y la falta de recursos están impidiendo que se pongan en marcha iniciativas similares o dar continuidad a las ya iniciadas. Además, la incertidumbre del sector, la degradación de los recursos y la escasa rentabilidad de las

explotaciones, hacen que se inicie un movimiento social alternativo, con una fuerte voluntad de cambiar las cosas. Este movimiento, representado por pequeños grupos a nivel local, se encuentra reproducido por todo el territorio. La creatividad y el convencimiento de algunas personas y organizaciones, permite iniciar proyectos sin apoyo institucional, creando asociaciones, cooperativas o agrupándose alrededor de otro tipo de entidades locales. Estas iniciativas suponen una alternativa a la situación actual, y promueven una creciente demanda para poner en marcha proyectos similares. La cantidad de agentes implicados y lo complejo de las relaciones entre ellos, requiere de periodos largos de tiempo para dar sus frutos en el camino hacia la sostenibilidad. Es fundamental que los productores sean los catalizadores del cambio hacia una mayor sostenibilidad a través de sus habilidades y conocimientos, sin embargo es muy importante también que cuenten con la organización, los apoyos y las herramientas necesarias para que no se vean desbordados por la magnitud de las acciones que se deben emprender. Las experiencias más exitosas las encontramos con la unión del mayor número posible de explotaciones cercanas, en lugares donde se conserva una mayor biodiversidad, donde los colectivos sociales se implican en el cambio, donde se produce un buen flujo de información y una buena comunicación entre los actores implicados, un buen asesoramiento técnico y una investigación dirigida y precisa con vocación de servicio social. Esto unido a la capacidad emprendedora de grupos que promueven la instalación de empresas dedicadas al sector y el fomento de los canales cortos de comercialización. Es muy importante la presencia de almazaras cercanas con línea ecológica, así como adquirir la experiencia comercial necesaria en el mercado del aceite envasado diferenciado y de calidad para retener parte del beneficio de la cadena de valor del precio del aceite. La adopción de las medidas para mejorar hacia una mayor sostenibilidad requiere un grado de difusión y experimentación tal que sería necesaria una agrupación de esfuerzos de instituciones de investigación, agricultores, entidades de desarrollo rural y administraciones con responsabilidad en la gestión del territorio y los recursos, así como, asociaciones, consumidores y de la sociedad en general.

La degradación del olivar no afecta solo a la diversidad biológica, sino también a la diversidad de conocimientos y manejos asociados al territorio, que durante miles de años han permitido el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. La pérdida progresiva de conocimiento local es una causa de degradación de los recursos, que actualmente son gestionados a través de las directrices impuestas por la Administración en base a estudios científicos que penalizan de algún modo el conocimiento local, ignorándolo. Como señala Kabourakis (1996) la evaluación de las investigaciones basadas en la experimentación y la ciencia convencional fácilmente pueden subestimar la importancia social de un proyecto. La incorporación de un gran número de operadores ecológicos en torno al olivar, está motivada en gran parte por la falta de rentabilidad del olivar y la degradación de los recursos naturales, culturales y socioeconómicos. Andalucía tiene la ventaja de poseer un gran territorio muy heterogéneo que ha permitido la supervivencia de la agricultura familiar, que se encuentra bien representada en áreas “desfavorecidas” de montaña. Los recursos humanos y naturales de estas zonas rurales permanecen en el tiempo, por su fuerte identidad histórica, ecológica y cultural, pero no pueden escapar a la persistente y continuada erosión a la que les expone el actual sistema económico. En muchas de estas zonas olivareras, abundan las explotaciones de escasa dimensión, que apenas cubren los costes de producción, sin embargo, se siguen

trabajando, por su función a nivel identitario, emotivo, espiritual, referencial, y su integración tanto con otros sistemas agrícolas, ganaderos y forestales, como con el sector servicios.

Muchos estudios apuntan al manejo de las cubiertas vegetales para aumentar la sostenibilidad del olivar en relación a todos sus atributos. Asimismo, el manejo ecológico elimina o reduce el riesgo de contaminación difusa, minimizando las externalidades negativas, y garantizando los servicios ambientales. Sin embargo, como bien apuntaban Guzmán *et al.* (2011) proveer a los olivares de estas estructuras acarrea unos costes, por lo que habrá que compensar de algún modo a quienes las pongan en práctica. Hay que reseñar que, cuando se promueve la transformación del olivar de un territorio hacia el manejo ecológico, paralelamente se transforman otras superficies con orientaciones distintas atendiendo a la variedad de cultivos manejados por los olivareros y a las producciones directamente relacionadas con éstas.

EL AGROECOSISTEMA OLIVAR: ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL OLIVAR

El olivar se configura en base a sus elementos bióticos y abióticos; ambos en su conjunto mantienen relaciones definidas por procesos que guardan, en el tiempo y en el espacio, un equilibrio dinámico, conformando su función. Los factores de situación geográfica, clima, edáficos o hidrológicos son los componentes estructurales básicos del ecosistema. Asimismo, los olivares están sometidos a diferentes niveles de manejo, y se encuentran en continuo cambio de acuerdo con factores, culturales, históricos, socioeconómicos, medioambientales y políticos. Tales características y variaciones, configuran el paisaje y definen la heterogeneidad característica de las regiones olivareras de Andalucía.

Los factores abióticos que condicionan en mayor medida al olivar son el suelo, el agua y el clima, así como las interacciones entre ellos a través del equilibrio suelo-planta-atmósfera. El clima mediterráneo condiciona en gran medida la organización y el equilibrio estructural del olivar, que puede cultivarse en secano en zonas con precipitaciones en torno a los 400 mm, aunque su desarrollo óptimo se sitúa entre los 600-800 mm (Melgar *et al.*, 2008; Navarro & Parra, 2008). Su rusticidad y capacidad de adaptación hace posible su cultivo en situaciones de escasez de suelo, pudiendo desarrollar su sistema radical en apenas 30 centímetros de profundidad. El olivo se ve favorecido por texturas del suelo francas, franco-arcilloso-arenoso y arcillo-arenosas con un óptimo drenaje. Crece bien en suelos que van de moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos y resiste mejor la salinidad que otros árboles frutales (Navarro & Parra, 2008; Melgar *et al.*, 2009). Aunque los requerimientos climatológicos del olivo son escasos, su distribución está delimitada por los -7º C como temperatura a partir de la cual se presentan problemas con heladas en los cultivares más tempranos (Aranda, 2010).

Aunque desde los años 1980 el olivar se ha modernizado, siguen conviviendo en el territorio una gran variedad de tipologías de olivar. Por un lado se encuentran los olivares de montaña o marginales en alta pendiente, ocupando un 24% de la superficie olivarera de Andalucía (Cubero & Peco, 2010). Estos olivares suponen más del 75% de la superficie total de olivar en municipios localizados en zonas de sierra de las provincias de Córdoba, Jaén, Huelva, Málaga,

Cádiz, y más del 50% en otros municipios de montaña en Granada y Sevilla (CAP, 2008). Los olivares en áreas marginales, a su vez están incluidos en el 60% de la superficie que se corresponde con plantaciones tradicionales de secano de pendiente alta y moderada, con un tamaño medio de 4,26 has y una densidad de 113 árboles/ha. Le siguen en importancia, pero a distancia, las explotaciones tradicionales de regadío en pendiente moderada, con un tamaño medio de 5,8 has y una densidad de 145 árboles/ha, con un 14,63% de la superficie. En el otro extremo se encuentran los olivares intensivos de secano y regadío en pendientes moderadas, popularizados con la entrada de España en la Unión Europea, en la que se incluyen también los olivos de renuevo (11,8% del total). Por último, ocupando un 2% y en aumento, los olivares superintensivos, situados en campiñas fértiles. El 91,3% de las explotaciones tienen menos de 10 hectáreas (44,5% de la superficie). El 67,5% de la superficie olivarera tiene una pendiente media superior al 10%, y el 26,6% supera el 20%. El olivar de secano representa el 79,3% de la superficie total de olivar en Andalucía, situado principalmente en Jaén, Córdoba y Sevilla.

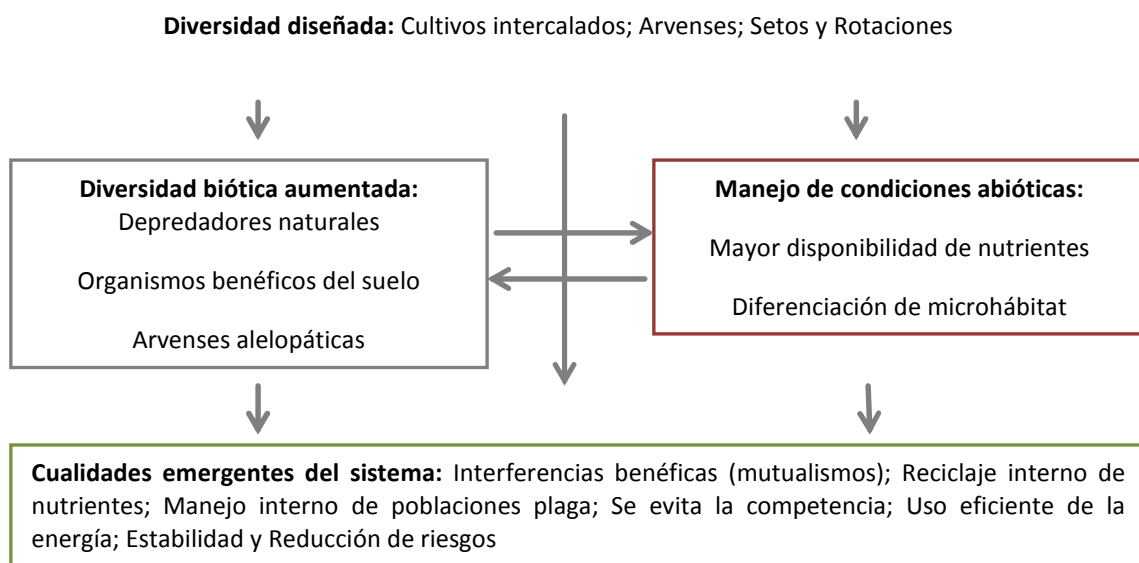
La historia del olivar andaluz se caracteriza por una expansión continua de la superficie ocupada, con el uso de suelos cada vez más marginales; un carácter eminentemente comercial por la continuada actividad exportadora, y la disponibilidad de mano de obra abundante y barata (Rallo, 1986). El olivar ha sido considerado históricamente como un cultivo extensivo y colonizador, rústico y adaptado al medio, capaz de producir cosecha allí donde otras plantas no lo hacían. Este concepto ha configurado al olivar como un sistema agrícola cuya productividad no ha sido un objetivo (Rallo, 1986; Naredo, 1983). El rendimiento medio de las explotaciones de secano se sitúa en 3.431 kg/ha y en regadío 4.451 kg/ha (CAP, 2008), sin embargo, existen olivares marginales con rendimientos por debajo de los 1.000 kg/ha (CAP, 2008) y otros superintensivos que superan los 10.000 kg/ha (Sánchez *et al.*, 2011). Muchos olivares situados en laderas y en suelos pobres, tradicionalmente laboreados, cuentan con un escaso perfil edáfico, que limita la cantidad de suelo explotable por el olivo para la producción, y los sitúa, en los casos extremos de degradación, en riesgo de deterioro irreversible, ya que la formación de suelo sucede mucho más lentamente que su remoción por procesos erosivos (Gómez & Giráldez, 2009). Sin embargo, aunque la erosión es un problema principal, que además merma, la ya de por sí escasa materia orgánica de los suelos, no es el único problema que adolece al olivar en Andalucía. Son frecuentes los episodios de contaminación de aguas, la pérdida de biodiversidad tanto biológica como cultural, el encarecimiento de los insumos y los factores de producción, el riesgo de abandono de los olivares menos productivos, el despoblamiento de las áreas rurales, o la incertidumbre y el descontento de los olivares. Como bien apunta Duarte *et al.*, (2009), la pregunta no es si es posible compatibilizar la actividad productiva en el olivar con la conservación y mejora de su biodiversidad, sino si es posible mantener el cultivo del olivar con un tipo de producción cada vez más alejado de los ciclos naturales que regulan los ecosistemas y de los propios recursos del territorio.

NIVELES DE ORGANIZACIÓN

El olivar se organiza a partir de *individuos*, que se localizan dentro de la parcela o en su perímetro, y mantienen relaciones entre ellos, y con los individuos de los ecosistemas colindantes a través de los flujos de materiales y energía. La gran diversidad de individuos presentes hace que el análisis a este nivel sea una tarea compleja, que se simplifica si se agrupan los organismos en función del “subsistema” en que se emplazan (estrato arbóreo,

herbáceo, ruedos, calles, suelo, etc.). Entre los conceptos relevantes a este nivel, se encuentra el de organismo indicador, como aquella especie que, en un contexto territorial y ecológico definido, presenta, en su distribución y abundancia, una pauta que se correlaciona con la de los valores de un determinado factor (Terradas, 2001) (Tablas 2 a 4 del Anexo A). Este concepto se puede hacer extensible a una comunidad o a una población (Cano, 2007). A diferencia de los animales, las plantas son organismos modulares, y a menudo, en el trabajo de campo, puede ser difícil distinguir individuos verdaderos de vástagos de un mismo individuo. La observación de un grupo de individuos de la misma especie es importante para determinar y comprender la capacidad del ambiente para soportar una *población* determinada a través del tiempo. En este nivel entran en juego conceptos propios de la demografía de poblaciones (tasa de renuevo, mortalidad, banco de semillas, migración, densidad, etc.) que variarán en función de la especie que forme dicha población y cómo se relacione con las especies que la rodean. Asimismo, desde el punto de vista ecológico, un cultivo es una *comunidad* de poblaciones, resultado de la adaptación y de las interacciones de las especies y poblaciones que la componen, entre ellas y con los gradientes de los factores abióticos ambientales y de manejo. Las diferentes formas de interferencia (competencia, parasitismo, herbivorismo, alelopatía, mutualismo, modificación del microhábitat, etc.) afectan a la distribución y la abundancia de las distintas especies, y confieren a la comunidad ciertas características emergentes que contribuyen a la estabilidad, productividad y dinámica funcional del agroecosistema (Gliessman, 2002). El nivel organizativo correspondiente al *ecosistema*, incluye los factores abióticos en adición a las comunidades de organismo de un área específica. Para analizar este nivel, es interesante poner énfasis en una visión basada en la economía de la naturaleza, en los procesos que influyen en la distribución y abundancia de los organismos, las interacciones entre ellos y con los flujos de materia y energía. Del mismo modo se debe abordar la evaluación del *agroecosistema*, entendido como sistema natural artificializado por el hombre que ha coevolucionado con éste en un territorio determinado a lo largo de la historia para la obtención de alimentos, energía y materiales. Las propiedades emergentes del ecosistema son el resultado de la interacción de las partes en cada nivel de organización (Figura III.1), y la sostenibilidad puede considerarse como la cualidad última que emerge del agroecosistema.

Figura III.1. Dinámica ecológica en agroecosistemas diversificados (Gliessman, 2002)



Desde el punto de vista fitosociológico, es frecuente que el olivar se asocie de forma natural con el lentisco, el acebuche, los alcornocales, quejigares y bosques esclerófilos en general, o matorrales producto de su degradación (Cano & Cano, 2008). En cualquier caso, la vegetación dominante son las formaciones herbáceas, que se corresponden con comunidades ruderales y nitrófilas de terófitos, cuya estructura y composición está condicionada por las labores del suelo, el tipo de suelo y el clima. Estas asociaciones vegetales suelen ser invasoras, y no poseen la complejidad propia de etapas sucesionales más maduras debido a la perturbación periódica causada por el hombre, que conlleva distinto grado de simplificación biológica, en función de la tipología y manejo del olivar. Los elementos florísticos más maduros se corresponden con las lindes vegetadas y las islas de vegetación natural (Duarte *et al.*, 2009).

A menudo, las investigaciones agrícolas que evalúan la producción, se centran en el nivel descriptivo de las poblaciones y no en la comunidad de la que forma parte el cultivo, prescindiendo de las propiedades emergentes de este nivel organizativo, y enfatizando los efectos negativos que causan ciertas poblaciones de hierbas o de insectos. Si atendemos a la idea de no equilibrio, de reestructuración continua, una comunidad es algo cambiante, difícil de definir y de delimitar. Por otro lado, parece un contrasentido referirse a una comunidad cuando atendemos únicamente a los productores primarios, que tan sólo son un segmento muy parcial de estas estructuras. Aunque utilizaremos este concepto en relación a la vegetación herbácea del olivar, no hay que olvidar que la comunidad nace más de la artificiosa división de los conocimientos en ciencias que de la realidad (Terradas, 2001). Por todo ello, para entender los procesos esenciales para el manejo de los cultivos de cobertura es más interesante aproximarnos al funcionamiento de estas comunidades en el olivar, interactuando con el resto de factores bióticos y abióticos, que realizar una simple aproximación taxonómica.

DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA TRÓFICA

La agricultura afecta a la diversidad biológica, reemplazando a los ecosistemas naturales por un pequeño número de plantas y animales domesticados (Altieri & Nicholls, 2007). La mayor simplificación está representada por los monocultivos, ya que forman paisajes agrícolas simples y homogéneos, y suponen la pérdida de agrobiodiversidad beneficiosa. Como ya se comentó, esta situación implica una importante pérdida de diversidad genética, que resulta en una mayor exposición ante plagas y enfermedades, al desaprovechar la resistencia parcial que es específica a determinadas variedades (Barranco, 1982; CAP, 2008; Trapero *et al.*, 2011; Campos, 2011). La olivicultura intensiva también afecta a la biodiversidad a través de la degradación de suelos y aguas (salinización, contaminación, erosión, etc.). Una de las características de los olivares con un menor grado de intensificación productiva, es la mayor riqueza de elementos bióticos, su mayor heterogeneidad y estabilidad, más cercana a la de los ecosistemas naturales. El uso de analogías naturales sugiere principios para el diseño de sistemas agrícolas, a través del uso eficiente de los recursos bióticos y abióticos, fomentando las propiedades de autorregulación mediante el aumento de la biodiversidad. Estas interacciones positivas permiten producir con una menor dependencia de los recursos externos al agroecosistema. Sin embargo, el éxito de una estrategia de conservación de los recursos y de producción diversificada no se puede desligar de la diversidad cultural y el conocimiento tradicional (Altieri & Nicholls, 2007).

En el agroecosistema olivar hay descritas 120 comunidades y casi 1000 especies arvenses (Pujadas, 1986; García & Cano, 1995; Cano, 2007); 100 especies de artrópodos fitófagos y casi 1000 especies entomófagas e insectos auxiliares; más de 40 especies de aves y más de 30 especies de mamíferos y réptiles (Duarte *et al.*, 2009). Si a esto le sumamos la microbiota del suelo, las plantas de linderos y zonas de vegetación natural y otras especies domesticadas, la cuenta se dispara. El Mediterráneo presenta la mayor diversidad de herbáceas del mundo, y España se sitúa en segundo lugar, por detrás de Turquía, con 7.500 especies; concretamente, las dehesas, muestran una diversidad de herbáceas entre las más elevadas del mundo, con predominio de los terófitos (Marañón, 1985). La alta diversidad florística de los olivares contribuye de forma relevante al complejo entramado de relaciones entre sus partes, y en conjunto, el olivar, puede funcionar a nivel ecológico, como un bosque aclarado, un pasto arbolado o una dehesa. El olivar es una pieza clave para la conservación de la diversidad de numerosas especies endémicas y otras en peligro de extinción (Pujadas, 1986). Por todo ello, es necesario ampliar la visión del olivar como un simple monocultivo con suelo desnudo, más aún cuando ocupa extensas áreas conformando el paisaje de muchos territorios andaluces (Cano, 2007). Debido a esta alta diversidad, en la práctica es más interesante que la aproximación descriptiva, la posibilidad de emplear agrupaciones funcionales de los elementos del agroecosistema para entender mejor los procesos que lo mantienen. La mayoría de las aproximaciones sobre la diversidad se refieren más a las pautas que a los procesos, se abordan a menudo con un enfoque descriptivo, y presuponen que la diversidad del grupo analizado implica la diversidad del resto de grupos que configuran una comunidad o un ecosistema. No obstante, la diversidad de un grupo no suele predecir la de otros, como demostró Mares (1996), ni siquiera zonas consideradas como de muy alta diversidad, lo son para cualquier grupo. Por tanto, debemos hallar los grupos más representativos del conjunto, ya que en cada ecosistema hay diversidades distintas para las diferentes “comunidades” que lo integran.

Las distintas necesidades nutricionales de las especies de una comunidad, y cómo las satisfacen en relación a otras especies, conforman su estructura trófica. La base de esta estructura son las plantas verdes, por su capacidad para capturar energía solar y convertirla en biomasa mediante la fotosíntesis, por ello, este nivel se conoce como el de los productores primarios. Los organismos que consumen vegetales son los consumidores primarios o fitófagos, y los que se alimentan de ellos son consumidores secundarios (depredadores y parasitoides). Cada nivel de consumo se considera como un nivel trófico, y entre ellos mantienen complejas relaciones cuyo entendimiento es de gran importancia y aplicación en los agroecosistemas. Los cultivos perennes con cubierta vegetal presentan cadenas tróficas más largas y estables que los cultivos anuales o los leñosos con suelo desnudo.

En relación a los productores primarios presentes en las calles de olivares poco perturbados, fácilmente se sobrepasan las 100 especies distintas de arvenses en 0,5 has (Guzmán & Foraster, 2007; Foraster *et al.*, 2011), incrementándose sustancialmente si también se consideran las hierbas, arbustos y árboles de lindes, zonas de vegetación natural o ruidos (Sánchez, 2003). Sin embargo, la riqueza de especies presenta una alta variabilidad según la localización y tipo de cultivo, su edad, tipo de suelo y manejo, pendiente, orientación, tipo de cubierta, etc. por lo que, por sí mismo, no resulta un buen indicador de la biodiversidad del agroecosistema. Las comunidades de hierbas que ocupan las calles del olivar son arvenses y ruderales, principalmente de óptimo primaveral, y en su mayoría son terófitos, es decir,

completan su ciclo en menos de un año, y durante la sequía estival la mayoría se encuentran en forma de semilla en estado de reposo. Aunque esta estrategia de vida está correlacionada con las constricciones climáticas propias de las regiones áridas y semiáridas del Mediterráneo, también se ve favorecida por el laboreo del suelo. Pujadas (1986) sitúa al olivar de secano, en cuanto a diversidad florística, justo por debajo de las formaciones mediterráneas originales y considera que es uno de los cultivos que mayor número de especies de flora autóctona conserva (Figura III.2).

Figura III.2. Ordenación de los agrosistemas en la provincia de Córdoba, con base al tipo de flora presente (Pujadas, 1986).

AGROECOSISTEMAS		TIPO DE FLORA PRESENTE
FORMACIONES MEDITERRÁNEAS ORIGINALES		
Simplificación de la flora		
OLIVARES Y FRUTALES DE SECANO	VIÑEDOS	Riqueza florística; al menos un 70% es mediterránea y un 25-30% notablemente
Pérdida de los elementos autóctonos (iberoafricano y endémico)		El 65% de la flora sigue siendo mediterránea pero más eurícora
CEREALES DE SECANO (ciclo primaveral)		
Aumentan los elementos paleárticos de distribución más amplia		
CULTIVOS DE SECANO (ciclo estival)	CULTIVOS DE REGADÍO (ciclo primaveral)	Aparecen otros agrosistemas limítrofes, marginales o ecotónicos de flora como los márgenes de canales con un aumento de elementos paleo y holoárticos
Aumento de elementos cosmopolitas y paleotropicales		
FRUTALES REGADÍO	HUERTAS	
Aumento de elementos alóctonos y paleotropicales		
INDUSTRIALES DE REGADÍO	JARDINES	

La cubierta vegetal germina en otoño e invierno, con las primeras lluvias, florece y fructifica en primavera, y finaliza su ciclo al comenzar el verano. Su emergencia asegura la protección del suelo y favorece el establecimiento de la fauna. En primavera la cubierta alcanza su mayor desarrollo y producción de semillas, lo que facilita la mayor riqueza faunística. Sin embargo, las labores necesarias para evitar la competencia con el cultivo, reducen la cobertura vegetal en un momento crucial para la fauna que los necesita para completar su ciclo vital. El verano se caracteriza por la falta de cobertura y la escasez de agua, lo que reduce el valor del olivar y obliga a la fauna a concentrar su actividad en los linderos, islas de vegetación natural, acequias, etc. La cobertura vegetal en otoño beneficia a invertebrados, aves invernantes y a sus predadores, además, coincide con la presencia de aceitunas, lo que revaloriza la capacidad de acogida del olivar. En invierno, el olivar cumple una función básica como refugio, por su buena cobertura herbácea y la defensa que supone el heterogéneo mosaico agroforestal. El olivar es un medio en el que predominan las especies de amplio espectro ecológico, propias de etapas tempranas de la sucesión secundaria en un ecosistema sometido a constantes perturbaciones. Para el caso de los animales, esto supone que abundan las presas y que los depredadores no son especialistas (Duarte *et al.*, 2009).

Como representantes de los consumidores primarios o fitófagos, destacan por su abundancia las aves y los artrópodos. Las aves en el olivar se pueden dividir en dos grandes grupos, las que crían en el olivar (reproductoras), y las migratorias que están presentes durante el otoño e invierno (invernantes). Ambos grupos se ven favorecidos por la presencia de cubiertas y setos, mientras que las aplicaciones de pesticidas las perjudican. Abundan las aves frugívoras y granívoras, pero también las insectívoras, que buscan ávidamente alimento en la corteza de los troncos. La riqueza específica de avifauna presente es mayor en los olivares tradicionales que en los intensivos, y la densidad de aves es significativamente mayor en los olivares con suelo inalterado frente a los laboreados (Duarte *et al.*, 2009). Las labores del suelo afectan a las aves nidificantes en el suelo, a las que se alimentan de hierbas y semillas y a las insectívoras del suelo. Otras aves destacables son las rapaces como el búho, la lechuza o el mochuelo, representantes de eslabón más alto en la cadena trófica del olivar, junto a otras aves y reptiles. Por otro lado, uno de los grupos de vertebrados mejor representados es el de los réptiles, como el lagarto ocelado, la lagartija, las culebras y las salamandras. Los conejos y las liebres son frecuentes, aunque es esta última la especie más asociada al olivar. También se pueden ver ratones, ratas, musarañas, topos, incluso lirones. Otros carnívoros que puede albergar el olivar son los zorros, las ginetas y las comadrejas, mientras que las garduñas, turones, meloncillos o gatos monteses, utilizan los olivares como territorio de caza. En parcelas situadas en las laderas de bosques se pueden adentrar los jabalíes o los ciervos. Otros animales que pueden observarse son murciélagos, erizos, gamos o corzos. Por otro lado, la artropodofauna asociada al olivar constituye una complicada red ecológica cuyo conocimiento y conservación es fundamental para la sostenibilidad del cultivo, ya que cada grupo tiene una función principal, por ejemplo fragmentando y descomponiendo la materia orgánica, contribuyendo al control biológico, o como polinizadores. Este complejo trófico está compuesto por fitófagos, entomófagos, polinizadores, descomponedores y neutrales, donde éstos últimos suponen el 20%, y los fitófagos en torno al 10%. Las especies entomófagas comprenden depredadores y parasitoides, estos últimos están representados por unas 300-400 especies de himenópteros, mientras que el complejo depredador comprende distintos órdenes, los principales son, las arañas (217 spp.), los coleópteros (30 spp.), las hormigas (23 spp.), los hemípteros (11 spp.), y los neurópteros (13 spp.) (Duarte *et al.*, 2009). Otro eslabón importante en la cadena trófica es el de los descomponedores, microorganismos saprófagos que aprovechan la energía ligada a los enlaces químicos de la materia orgánica liberando los minerales que la componen, de forma que vuelvan a ingresar en el ciclo productivo. El suelo contiene una gran cantidad de organismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas, protozoos, nemátodos, lombrices de tierra, artrópodos y moluscos.

ESTRUCTURA DE LA VEGETACIÓN, ABUNDANCIA Y DOMINANCIA

Las comunidades a menudo son caracterizadas por la estructura de su vegetación, determinada principalmente por la especie dominante y/o la forma y abundancia de otras especies y su distribución espacial y temporal (Terradas, 2001). En función de la disponibilidad de recursos, pero también de factores poblacionales, históricos y de manejo, se establece una determinada organización espacial entre individuos de distintas especies, repartiéndose el espacio aéreo y subterráneo, con una distribución horizontal (individuos) y vertical (hojas, troncos y raíces) concreta. El desarrollo vertical de cada individuo depende del tipo de

crecimiento de la especie y de los individuos que le rodean, de este modo, en siembras densas las plantas se enderezan y forman más broza que en las siembras claras donde tienden a matear, producir más tallos y semillas (Remmers, 2000). En cualquier caso, el predominio de algunas formas de crecimiento es un elemento decisivo en la arquitectura final del sistema. La forma de ocupar el espacio en el sentido horizontal depende del crecimiento individual y de la manera de reproducirse. En algunas especies, la diseminación se produce a corta distancia del individuo materno, dando lugar a distribuciones agregadas. En otras, la presencia de un individuo inhibe la germinación de otros de la misma especie, produciendo distribuciones regulares. Las plantas clonales presentan rametes, que pueden adquirir independencia como verdaderos individuos vegetativos. Se ha demostrado que las plantas con capacidad para rebrotar, no la utilizan exclusivamente después de las perturbaciones, sino también entre ellas (Terradas, 2001). Ello no excluye que las mismas especies puedan producir nuevos individuos genéticos a partir de semillas, aunque la mayoría ven frustrado su establecimiento por la intensa ocupación del espacio por los rametes. Cuanto más denso es el desarrollo de hojas y ramas, más se inhibe la germinación de otras especies que se ven privadas de luz. Esta inhibición puede necesitar algún tipo de perturbación para dar paso a especies de mayor talla; otras veces en lugar de inhibición hay un efecto protector y facilitador.

Del mismo modo que la estructura vertical y horizontal de la comunidad da oportunidades a la diferenciación de nichos aprovechables por distintas especies, el comportamiento fenológico implica posibles nichos diferenciados en el sentido del tiempo. Los distintos tipos fisionómicos pueden dar posibilidades diferentes a esta diferenciación temporal. Guàrdia *et al.*, (1998) encontraron que la floración y fructificación están más sincronizadas en los pastos, (más aparentes y discontinuas) y más, cuanto más xerófilos son los pastos. Las herbáceas perennes, más dominantes en los pastizales menos xerófilos, prolongan más su floración y fructificación que las anuales. Se ha demostrado en varias comunidades mediterráneas que las comunidades más complejas presentan cambios fenológicos menos aparentes.

La dominancia puede ser el resultado de la abundancia relativa de un organismo y/o de su tamaño y/o su papel ecológico. El árbol o los arbustos, e incluso las hierbas grandes o formadoras de macollas densas, condicionan el ambiente en el que viven las plantas menores. Por tanto, el olivo es la especie dominante, y acumula la mayor parte de la biomasa y la actividad biológica del conjunto del agroecosistema, aunque no sea la más numerosa. Varios estudios han abordado la heterogeneidad que introducen los árboles en las dehesas ibéricas (Escudero *et al.*, 1985; Puerto & Rico, 1989; Joffre & Rambal, 1993). El componente árbol-hierba frente a las zonas abiertas, presenta una mayor infiltración, humedad del suelo, evapotranspiración, nitrógeno y materia orgánica, tasa de descomposición, y material de desfronde. También se registran diferencias de temperatura del suelo y del aire, propiciando en conjunto, unas condiciones que combinan la fertilidad con el microclima para dar las mayores biomásas en una zona intermedia entre el tronco y el borde del vuelo. La observación de estas características es importante para comprender el papel estructurador que tienen los olivos, las islas de vegetación natural y las lindes vegetadas. Por todo ello, cuando analizamos las comunidades vegetales de la cubierta, nos referimos al centro de las calles y no a las zonas del ruedo o al lado de las lindes, que arrojarían resultados distintos a través del análisis descriptivo y funcional. En el estudio de la comunidad vegetal se suele excluir a organismos decisivos para la vida de las plantas, como fitófagos, detritívoros, polinizadores, etc. Esto surge

de la limitación para observar un sistema mucho más complejo, por lo que es principal trabajar también a nivel predial de forma interdisciplinar. El presente estudio se centra principalmente en las plantas y conjuntos de plantas, pero habrá que transgredir a menudo esta limitación para aproximarnos a la comprensión del funcionamiento del olivar.

Por otro lado, al clasificar los distintos individuos en especies, aparecen pautas de abundancia de éstas, con algunas especies muy abundantes y muchas otras raras. La forma de las curvas de abundancia-especies se relaciona con la manera en que las especies se reparten los recursos. Si unas pocas especies dominan mucho en la comunidad, estas curvas presentan pendientes muy fuertes, pero si la dominancia está más repartida, más equitativa, la pendiente es menos abrupta. Según Whittaker (1965) esto responde a que las distintas especies tienen diferente grado de éxito, con algunas dominantes que hacen sombra a las demás, y que cuando cierran el vuelo disminuyen gradualmente. Sin embargo, estos modelos de dominancia/abundancia se basan en una noción de equilibrio en la comunidad, cuando lo más probable es que, la riqueza específica de ésta sólo pueda explicarse considerando las fluctuaciones temporales en la cantidad y variedad de recursos y en la incidencia de factores ambientales (Terradas, 2001). Parece más útil considerar una diversidad realizada o actual, formada por las especies presentes y su abundancia relativa, y una diversidad potencial o banco de especies, como todas las especies que pueden desarrollarse en el ecosistema, por estar sus gérmes presentes o tener una alta probabilidad de acceso. Dado que el ambiente varía a lo largo del tiempo, las especies que entran en juego en cada momento pueden variar también; la evolución, tiene lugar en el marco ecológico entre las especies activas en el ecosistema, y ello enriquece continuamente el “almacén” de biodiversidad.

ESTRUCTURAS QUE MANTIENEN LA BIODIVERSIDAD EN EL OLIVAR

Los agroecosistemas no suelen alcanzar un gran desarrollo sucesional, debido a las frecuentes perturbaciones a las que están sometidos, por lo que se considera que son ecológicamente inestables. En consecuencia, la diversidad es difícil de mantener, debilitándose los enlaces funcionales entre sus componentes, y la capacidad de autorregulación. En el contexto de la biodiversidad funcional, es posible iniciar sinergismos que contribuyan a activar la biología del suelo, el reciclado de nutrientes, el control biológico, etc. (Altieri, 1999; Altieri & Nicholls, 2007; Campos, 2011). Los agroecosistemas más sostenibles son los que presentan una mayor diversidad estructural y funcional, en el que se solapan distintos niveles de diversidad con diferentes etapas de desarrollo; esta complementariedad espacio-temporal, promueve los servicios ecosistémicos básicos y provee resistencia ante las perturbaciones. El sistema puede alcanzar un estado de madurez, esto es, la condición sucesional en la cual puede ser desarrollado el completo potencial del flujo de energía, reciclaje de nutrientes, y dinámica poblacional en el ambiente físico en el que se encuentra (Gliessman, 2002). El diseño de estrategias exitosas, se basa en identificar el tipo de biodiversidad que se desea mantener y fomentarla para llevar a cabo los servicios ecológicos básicos, así como determinar las mejoras prácticas que favorezcan los componentes de biodiversidad deseados. En el caso del olivar se pueden poner en práctica varias estrategias para incrementar los beneficios de la diversidad: cultivos intercalados; cercas vivas y vegetación amortiguadora; cultivos de cobertura; rotaciones de los cultivos de cobertura; cultivo en franjas; labranza reducida o no laboreo y reducción del uso de agroquímicos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DIVERSIDAD

La diversidad varía mucho de unas regiones a otras y de unos grupos a otros; tradicionalmente se ha relacionado la diversidad con el clima, en función de gradientes de altitud, latitud o temperatura. También se ha estudiado la relación entre la diversidad y la acción de los fitófagos, la riqueza florística y la producción primaria (Tilman *et al.*, 2001), entre la diversidad y la fertilidad del suelo (Huston, 1999) y entre la riqueza de especies y la disponibilidad de agua-energía en la comunidad (O'Brien, 1998). La disponibilidad de energía puede considerarse como la variable independiente de la que dependen otras variables biológicas o de recursos, que mantienen una relación de interdependencia. Según Rosenzweig y Abramsky (1993) la riqueza aumenta al aumentar la producción, hasta llegar a un máximo, y luego disminuye por un proceso de competencia. Es muy probable que en las comunidades muy productivas actúe la competencia, favoreciendo a unas pocas especies que pueden canalizar, en beneficio propio, la mayor parte de la energía disponible. Sin embargo, en los medios heterogéneos y fluctuantes, con intervención del azar en la colonización de espacios abiertos, la competencia ve continuamente alteradas sus condiciones, y la lógica para entender la riqueza de especies sería la de no equilibrio. Los efectos climáticos también pueden ser decisivos a niveles locales, con diferencias microclimáticas sustanciales, por ejemplo, entre exposiciones norte y sur, entre laderas y fondos de valle, etc. Es difícil saber qué factores son realmente importantes, cómo pueden variar entre especies y cómo funciona su interdependencia. Además del clima, el suelo o los tipos de dominantes, el manejo y la historia previa de la finca son factores importantes a tener en cuenta (Terradas, 2001). La diversidad tiende a aumentar la producción, porque los recursos son aprovechados de modo más completo, así que, de alguna manera, hay efecto de la diversidad sobre la producción que es, en realidad, un efecto indirecto de los recursos. Por lo que se debe considerar la productividad como una variable dependiente (Terradas, 2001). La mayor parte de la variabilidad para condiciones ambientales similares se debe a las diferencias de manejo. Algunos métodos de manejo se muestran destructores de diversidad, al alterar el medio o el régimen de perturbación hasta hacerlo inhabitable, o bien de forma indirecta, al favorecer a unas pocas especies productivas para el hombre. Por el contrario, un determinado manejo puede promover una mayor diversidad, al convertir un hábitat monótono en un mosaico complejo de situaciones. Algunos ecosistemas creados por el hombre han desarrollado una considerable complejidad y diversidad, como es el caso de las dehesas el olivar tradicional. En general, y aunque podemos discernir pautas naturales de diversidad, la diversidad concreta que se mide localmente es, en buena parte muy dependiente de la acción humana. Una intervención continuada puede mantener la diversidad indefinidamente deprimida (Margalef, 1976).

MEDIDAS DE LA DIVERSIDAD

El método más simple para medir la diversidad se basa en determinar el número de especies en términos de número de individuos, pero esta noción de diversidad es muy limitada ya que no tiene en cuenta la proporción en que las distintas especies están representadas. Una noción más razonable es la que se basa en la idea de que la mayor diversidad corresponde a la mayor incertidumbre en escoger aleatoriamente un individuo de una especie en particular. En este sentido, la diversidad jugaría en ecología un papel parecido al de la entropía negativa en termodinámica o al de la información en la teoría de la información, el de un parámetro

indicador del grado de complejidad u organización del ecosistema (Margalef, 1976; Shannon & Weaver en Terradas, 2001: 353). Sin embargo, las relaciones entre diversidad y producción o estabilidad son bastante complicadas ya que nunca es posible medir la diversidad del conjunto del ecosistema. El número de individuos, la biomasa y la productividad son ejemplos de valor de importancia para una especie en particular, y pueden usarse para medir la diversidad. Por otro lado, algunas medidas de la diversidad se basan en el principio de que un sistema es más diverso, cuando ninguna de las especies componentes puede ser considerada como más dominante que cualquiera de las otras especies (Whittaker, 1965), introduciendo la idea de equidad y redundancia (Terradas, 1987).

Los valores puntuales de diversidad tienen un interés relativo, y la organización del ecosistema se relaciona mejor con espectros de diversidad (Margalef, 1976). En los sistemas de organización más compleja, la diversidad puntual puede ser baja, pero crecer al aumentar la muestra, debido a la complejidad de la composición en el espacio. En este sentido el enfoque que más se ha desarrollado es el reconocimiento de diversidades alfa, beta y gama, que permiten describir como varían los ecosistemas y paisajes en su estructura y diversidad. La *diversidad alfa*, es la diversidad o variedad puntual de especies en un área relativamente pequeña de una comunidad concreta. La *diversidad beta*, refleja la diversidad de especies de un lugar a otro; describe la diferencia de composición entre dos áreas adyacentes a lo largo de un transecto, de tal modo que sea mínima, cuando la composición sea idéntica, y máxima cuando no haya especies en común. La *diversidad gama*, se puede considerar como la que da la riqueza de especies en un área determinada, incluyendo todos los hábitats que en ella se encuentran, o como la debida a la diferencia de composición entre hábitats comparables situados en zonas vecinas. Refleja la heterogeneidad de las comunidades sobre parecidos biotopos a escala regional. La diferencia entre la diversidad alfa, beta y gama puede extenderse a otras dimensiones de la diversidad ecológica, tales como la diversidad estructural y funcional. A nivel del agroecosistema las aplicaciones más útiles las encontramos en la diversidad alfa y beta. Un sistema de cultivo con gran diversidad alfa o beta puede proveer las mismas ventajas, siempre y cuando ofrezca mayor facilidad de manejo (Gliessman, 2002).

Margalef (1980) cuando define el ecosistema como un retazo de la biosfera, no lo hace en el sentido de unidad concreta, sino en el de nivel de organización. Entonces, ¿qué sentido tiene medir de forma cuantitativa la diversidad si no se refiere a una unidad concreta, definida, de territorio?; tiene sentido porque se refiere a un tamaño de muestra (p.ej. superficie, individuos recolectados o biomasa) que es lo que se está midiendo, y es un tipo de observación que podemos hacer como mucho para unos pocos grupos taxonómicos (Terradas, 2001). Luego, si hablamos de diversidad del ecosistema, es porque suponemos existe una correlación entre la diversidad de los distintos grupos. Las diferentes especies tienen diferentes necesidades y el territorio preciso para mantener una población estable varía; este cuadro se hace aún más complejo si se consideran interrelaciones entre especies y se amplía la dimensión temporal y, por tanto las fluctuaciones en las condiciones ambientales. Hay que comprender que no puede enmarcarse la realidad, sin crear, de hecho, un universo nuevo, se trata de una representación finita. Por todo esto, hay que ser prudente al sacar conclusiones de nuestras parcelas y grupos al conjunto del ecosistema. Puesto que se trata de sistemas complejos e históricos, nuestra comprensión ha de centrarse en detectar grandes rasgos generales y también mecanismos que gobiernan cambios a pequeñas escalas temporales en sistemas particulares de interés.

A través del tiempo, la diversidad y la estructura de una comunidad, permanecen relativamente estables, aun cuando algunos individuos mueren y el tamaño relativo de sus poblaciones cambia. Debido a la habilidad de las comunidades para resistir cambios (resistencia) y regresar a un estado semejante al original cuando son perturbadas (elasticidad), se considera que las comunidades y los ecosistemas de los que forman parte, poseen la propiedad de estabilidad. La estabilidad depende en gran parte del tipo de comunidad y la naturaleza de la perturbación, y es una propiedad emergente del ecosistema que contribuye a su sostenibilidad. Los agroecosistemas son menos resistentes a las perturbaciones que los ecosistemas naturales, debido a su reducida diversidad en estructura y función, y al protagonismo principal de la cosecha. Mediante la aplicación de los conceptos ecológicos adecuados, los agroecosistemas pueden ser diseñados de manera similar a los ecosistemas naturales en términos de diversidad de especies, ciclo de nutrientes y heterogeneidad en el hábitat. Los sistemas diversificados favorecen complejas cadenas tróficas así como muchas vías alternativas de flujo de energía y materiales. Así, una comunidad más compleja es más estable y muchos datos apoyan esta idea (Altieri & Nicholls, 2007). El reto es demostrar las ventajas que se pueden obtener incorporando muchos de los componentes de la función del ecosistema que son importantes en la naturaleza, y el manejo de la diversidad a largo plazo en los cultivos. Ya que cada especie aporta algo diferente al proceso que mantiene la estabilidad, parte de la investigación agroecológica está enfocada al entendimiento de la contribución de cada especie y así poder integrarla al sistema en el tiempo y lugar óptimo (Gliessman, 2002).

Para poner en marcha un manejo que permita mantener la diversidad, hay que entender los motivos que hacen a la diversidad útil o necesaria. En la ecología clásica la diversidad se aborda como un parámetro macroscópico que describe propiedades relacionadas con el grado de organización de los ecosistemas. Por una parte, un número elevado de especies significa una mayor eficiencia en el uso de recursos por el ecosistema, ya que las distintas especies tienen el efecto de complementariedad en el aprovechamiento del medio. Los ecosistemas pueden mantener muchas propiedades funcionales con un porcentaje relativamente bajo de su diversidad inicial, aunque no se sabe por cuánto tiempo, ya que una de las funciones de la diversidad puede ser estabilizar el sistema a largo plazo, frente a perturbaciones relativamente infrecuentes, es decir, reducir la varianza temporal de las variables que reflejan procesos básicos (efecto tampón). Parece claro que un cierto grado de diversidad es necesario para que el sistema persista ante las fluctuaciones, no obstante, la aparición de un índice numérico alto o bajo de diversidad para un determinado grupo taxonómico no nos dice gran cosa sobre las propiedades del ecosistema ni resulta útil, por tanto, para hacer predicciones acerca de las respuestas y del funcionamiento de éste, si no tenemos un contexto muy bien establecido. Los ecosistemas parecen presentar un alto nivel de redundancia, por un lado, existen muchos organismos, considerados equivalentes, de unas pocas especies abundantes y pocos de otras raras, lo que conecta con la redundancia que aparece a nivel genético o celular, y en otro nivel, cierto número de especies parecen tener casi la misma significación para un proceso básico. El ecosistema parece, funcionalmente, sensible a la diversidad sólo hasta un valor moderado de ésta, como si por encima de este valor se produjese una saturación. La relación entre diversidad y funcionamiento del ecosistema no es igual para cualquier proceso, y no da lo

mismo perder una especie que otra, lo que indica la diferente importancia funcional de las distintas especies. La redundancia, se explica habitualmente como una garantía ante las fluctuaciones. Especies que hoy juegan un papel limitado pueden pasar, como consecuencia de cambios en el clima o perturbaciones, al primer plano en cuanto a determinar los procesos básicos del ecosistema, sustituyendo a otras hoy importantes. La fiabilidad siempre aumenta cuando se añaden al sistema componentes redundantes. Por lo tanto, la redundancia es un rasgo esencial en el mantenimiento del ecosistema a largo plazo (hipótesis del seguro). Se advierten dos efectos principales de la riqueza de especies sobre la productividad (Yachi & Loreau, 1999), un efecto estabilizador, de reducción de la varianza de la productividad a lo largo del tiempo, y un aumento en el valor medio de la productividad. Cuanto mayor es la varianza de las respuestas de las especies, menor es la riqueza de especies a la que la productividad media llega a la saturación y, por tanto, se produce redundancia funcional. Al aumentar el número de especies por grupo funcional, se obtienen medidas más consistentes de biomasa y densidad entre distintas muestras, por lo que, la redundancia estabiliza el comportamiento del sistema (Naeem, 1998).

FUNCIONAMIENTO DEL AGROECOSISTEMA OLIVAR

El aprovechamiento de las sinergias que resultan de las relaciones entre componentes bióticos y abióticos en el olivar, implica el ajuste espacio-temporal en el manejo y diseño del sistema, y a su vez depende de los procesos que las definen: el flujo de energía, el ciclo de nutrientes, el ciclo del agua y la regulación de plagas. Es fundamental comprender cómo funcionan estos flujos y su relación con la eficiencia, productividad o desarrollo del olivar.

FLUJO DE ENERGÍA

La energía fluye a través de los ecosistemas en forma unidireccional, y cada individuo usa energía para llevar a cabo sus procesos fisiológicos, transformándola en calor que ya no se encontrará disponible para otro uso. Por ello, sus fuentes de energía deben ser continuamente renovadas y solo un pequeño porcentaje de la biomasa de un nivel trófico se convierte en biomasa en el siguiente nivel. La energía acumulada en las plantas durante la fotosíntesis se denomina productividad primaria, y la energía que permanece después de la respiración de la planta, se conoce como productividad primaria neta. Los ecosistemas varían en su capacidad de convertir la energía solar en biomasa, mientras que los cultivos raramente exceden el 1%, los pastizales muestran una eficiencia en torno al 3%. El flujo de energía en un agroecosistema es alterado significativamente por la interferencia humana, y cuanto mayor es ésta, más grandes son las cantidades de energía cultural requeridas para producir alimentos (trabajo humano, animal o mecánico) (Gliessman, 2002). Por un lado, las entradas al sistema provienen principalmente de fuentes de energía no renovable, y por otro, una cantidad considerable de energía sale en cada cosecha en lugar de almacenarse en forma de biomasa en el sistema, lo que los convierte en sistemas abiertos. Se puede evaluar la eficiencia del uso de energía comparando la cantidad de energía contenida en la biomasa cosechada con la cantidad de energía cultural requerida para producir esa biomasa. La producción de alimentos puede ser más eficiente energéticamente, si se reducen los insumos industriales, se incrementa la inversión en energía biológica y se cambia la forma en cómo se usa la energía industrializada.

En el olivar, la entrada de energía depende fundamentalmente de la superficie de captación (olivos, cubierta vegetal, setos), siendo menor en aquellos olivares que mantienen el suelo desnudo. Según Guzmán & Alonso (2011), la producción primaria neta (PPN) varía según el clima, el suelo, el riego y el tipo de manejo. De este modo, los olivares de secano en suelos pobres y ácidos producen el 45% de lo que produce este mismo tipo de olivar en zonas con un suelo más estructurado. En régimen de regadío la PPN aumenta un 50-75% respecto al secano. Por último, los olivares ecológicos, gracias en gran parte al mantenimiento de la cubierta vegetal tiene una PPN entre un 2 y un 20% superior a los convencionales (Guzmán & Alonso, 2011), lo que implica una mayor eficiencia de conversión de la energía solar por parte de los olivares ecológicos independientemente de su tipología o régimen hídrico (Figura III.3).

Figura III.3. Productividad primaria neta de olivares ecológicos y convencionales de Andalucía (Guzmán & Alonso, 2011).

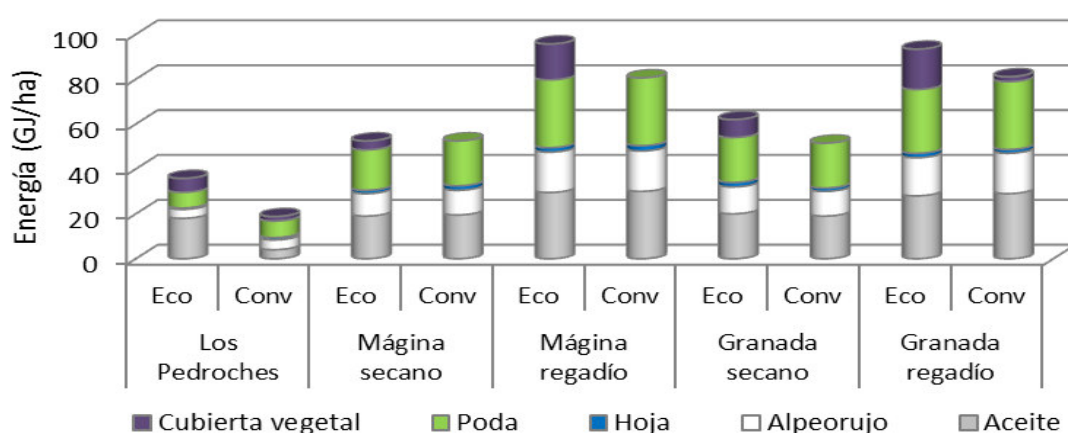
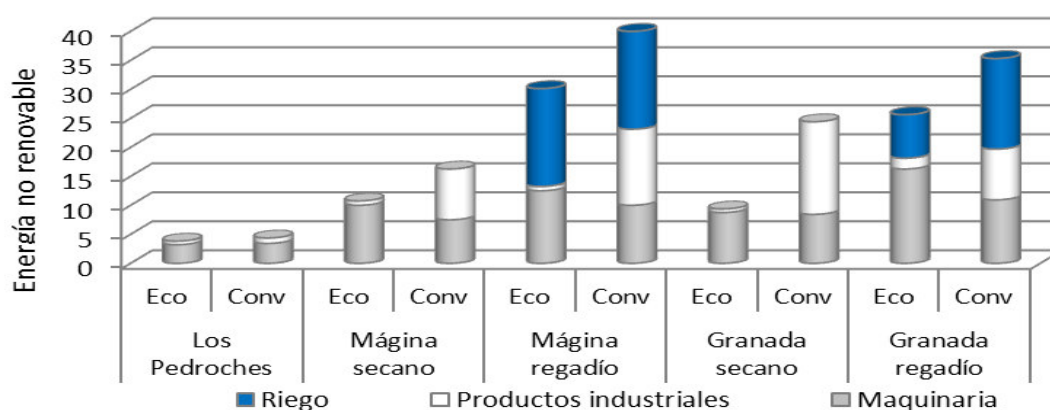


Figura III.4. Energía no renovable media consumida en distintos olivares y con distinto manejo (GJ/ha) (Guzmán & Alonso, 2011)



Otras entradas renovables de energía son las que proceden de la fertilización orgánica y el trabajo humano y animal, aunque este último es cada vez menos frecuente. Por otro lado, encontramos las entradas de energía no renovable proveniente de los fertilizantes químicos, los fitosanitarios y los combustibles u otros insumos industriales para el funcionamiento de la maquinaria, para la instalación del riego u otras estructuras. En la Figura III.4 se muestra el gasto energético por factores comparando el olivar ecológico con el convencional, donde queda reflejado el menor uso en energía no renovable por parte de la producción ecológica, y

como el riego supone un porcentaje muy importante del uso total de energía industrial que reduce la eficiencia de la energía no renovable en ambos manejos frente al olivar de secano.

La eficiencia de la energía no renovable invertida en el sistema es un 25% mayor para el olivar ecológico frente al convencional (Alonso *et al.*, 2008). El gasto de energía en el riego, supone más del 30% del gasto total en ambos manejos. El consumo de productos industriales por parte de los olivieros convencionales es un factor decisivo en la consecución de eficiencias de la energía no renovable más bajas respecto a los ecológicos. De ahí la elevada importancia relativa que puede tener el uso de enmiendas orgánicas, y como se puede reducir el indicador de eficiencia energética en los olivares ecológicos en los que se practica la simple sustitución de insumos. La eficiencia de la energía no renovable es mayor para el olivar ecológico, debido a que emplea una menor cantidad de insumos industriales, y a su vez, incrementa el uso de energía biológica, procedente de los fertilizantes orgánicos (Tabla III.1) y obtiene una cosecha similar a la convencional (Alonso *et al.*, 2008; Guzmán & Alonso, 2011). El porcentaje de energía reinvertida en el sistema es mayor en el olivar ecológico (14,1%) que en el convencional (0,9%), esto se debe a la incorporación de la cubierta, los restos de poda y desvareto y en algunos casos el uso de compost de alpeorajo (Guzmán & Alonso, 2011). Las entradas de energía difieren mucho entre ambos sistemas, en el olivar ecológico son mucho mayores, pero en un 86,3% son de origen renovable, mientras que el 92,4% de las entradas en el convencional son no renovables. En valor absoluto, el consumo de energía no renovable es menor en el olivar ecológico, ya que hace un menor uso de productos de origen industrial. En general, la olivicultura gasta más energía no renovable en relación al manejo del suelo y de las cubiertas vegetales, excepto en los casos donde las ovejas realizan este control.

Tabla III.1. Funcionamiento energético medio de los olivares convencionales y ecológicos de secano de Granada (Guzmán & Alonso, 2011).

	ENTRADAS (GJ/ha)				SALIDAS (GJ/ha)		PPN	Reempleos
	Materia orgánica	Trabajo humano	Maquinaria	Productos industriales	Aceite	Biomasa		
ECO	61,99	0,04+0,02*	9,94	0,73	20,41	32,32	61,40	8,67
CONV	0,09	0,04	9,17	7,7	19,32	31,38	51,17	0,47

*Trabajo animal; PPN: producción primaria neta (aceituna, madera, cubierta vegetal); Reempleos (cubierta vegetal y restos desvareto)

Puesto que el aceite apenas exporta nutrientes del suelo, si se reinvierte la biomasa que produce el olivar, apenas sería necesaria la incorporación de energía externa. El aceite representa el 75% de la energía cosechada con la aceituna (13,37 MJ/kg aceituna), siendo susceptible de retorno una cuarta parte en forma de compost de alpeorajo (13,27 MJ/kg). Para contrarrestar la salida de energía en forma de cosecha, leña, hojín y ramón, es importante el retorno del alpeorajo compostado, de la ceniza de la leña, el picado de restos de poda y el mantenimiento de cubiertas vegetales. La cobertura vegetal puede suponer una entrada de energía no subsidiada de entre 8,4 y 56,3 GJ³, contribuyendo a incrementar la eficiencia energética del sistema y el almacenamiento de materia orgánica, con lo que a largo plazo, debe suponer una disminución de la energía externa que es necesario aportar para conseguir

³ Considerando 14,095 MJ/kg (Contenido energético medio para la paja de cereal)*600-4.000 kg/ha (intervalo de producción de materia seca de la cubierta)

la misma producción de aceituna. Asimismo, el aprovechamiento de la cubierta como pasto para el ganado contribuiría a aumentar la eficiencia energética a través del aprovechamiento del estiércol generado y de la producción de carne y leche basada en una mayor eficiencia en el uso de la energía, frente a la carne que proviene de sistemas de estabulado. El uso de compost, el incremento de la biodiversidad funcional, el control biológico y el uso de cubiertas vegetales temporales, permiten reducir el uso de fertilizantes y pesticidas, que requieren grandes cantidades de energía para su fabricación. Hay tecnologías y factores de producción como el riego, el combustible o la electricidad, cuyo uso es difícil de reducir para incrementar la eficiencia en el uso de energía no renovable. Para lograr la reducción en el uso de este tipo de energía, los cambios deben realizarse en las políticas energéticas de los gobiernos, fomentando y promocionando las energías renovables (p.ej. biocombustibles, calderas de biomasa, energía solar o eólica) (Guzmán & Alonso, 2008a; Alonso & Guzmán, 2010).

CICLO DE NUTRIENTES

En los agroecosistemas, la biomasa transferida de un nivel trófico a otro contiene tanto energía como nutrientes, y éstos fluyen a través de ciclos biogeoquímicos, pasando de los componentes bióticos a los abióticos y viceversa. Estos complejos ciclos están interconectados, algunos de ellos tienen lugar a escala global (C, O, N), funcionando la atmósfera como un banco de reserva abiótico. Otros nutrientes menos móviles, son reciclados más localmente dentro del ecosistema y el suelo es su principal banco de reserva abiótica (P, K, S, Ca y micronutrientes). Los macronutrientes más importantes para el olivo son el potasio, el nitrógeno y el fósforo, a los que se añade el oxígeno y el carbono, esenciales para todas las plantas. Los suelos del olivar y la capacidad de éstos para almacenar y poner a disposición los nutrientes para el cultivo, dependen del grado de humedad, de la actividad microbiana, de la temperatura, la textura y el pH del suelo. Por otro lado, las prácticas de manejo del suelo y de la cubierta vegetal, la aplicación de fertilizantes, y su planificación espacio temporal tienen un papel principal en el ciclo de nutrientes del olivar. La Tabla III.2, resume las entradas y salidas de los principales nutrientes así como las relaciones que mantienen, en los ciclos biogeoquímicos con otros componentes bióticos y abióticos.

Tabla III.2. Dinámica de nutrientes en el olivar (Adaptado de Pajarón Sotomayor, 2007)

ENTRADAS	SALIDAS	ALMACENAMIENTO	RECICLAJE
<ul style="list-style-type: none"> • Abonado orgánico • Riego • Semilla para siembra • Precipitación • Fijación fotosintética • Fijación simbiótica • Fijación no simbiótica 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite • Alpeorujo • Leña • Combustión • Erosión y escorrentía • Lixiviación • Volatilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa vegetal • Materia orgánica del suelo • Complejo de cambio del suelo • Biomasa animal 	<ul style="list-style-type: none"> • Ceniza de leña • Picado restos de poda • Compostado de alpeorujo • Pastoreo • Cubierta vegetal • Hojas y aceitunas del ruedo y varetas

El olivar es un cultivo que se presta a cerrar el ciclo de nutrientes con relativa facilidad, por el alto porcentaje de biomasa que es posible reemplazar dentro del agroecosistema. Por un lado el manejo cuidadoso del suelo con mínimo laboreo o no laboreo, uso de cubierta vegetal y un adecuado drenaje, permite reducir las salidas de nutrientes por erosión y volatilización. Picar los restos de poda en vez de quemarlos reduce las salidas por combustión, a la vez que

permite reciclar el carbono dentro del sistema, y junto al retorno de la ceniza de la leña, permite reemplazar también el potasio. La posibilidad de compostar el alpeorajo, contribuye a cerrar el ciclo de nutrientes, ya que en la almazara permanece la mayoría del nitrógeno, el fósforo y el potasio, exportándose con el aceite básicamente carbono, oxígeno e hidrógeno. El uso de compost de alpeorajo, resulta la estrategia de fertilización más equilibrada para el olivar, puesto que su principal componente es el potasio. Junto a estas prácticas, el mantenimiento de la cobertura vegetal reduce las salidas de nutrientes por erosión, escorrentía y lixiviación, almacena los nutrientes en la biomasa vegetal y es una fuente de materia orgánica, promoviendo el reciclado de nutrientes durante todo el año a través de la activación biológica del suelo. Además supone la entrada de nitrógeno al sistema a través de la fijación simbiótica y no simbiótica. Por último, si la cubierta se controla con pastoreo a principios de primavera, se obtiene estiércol para el compostado del alpeorajo o como fertilizante directo al suelo y se obtiene alimento para el ganado, aumentando la eficiencia y la sostenibilidad del sistema, a la vez que se permite producir nueva biomasa a la cubierta para su uso como abono verde o acolchado. Esta estrategia permite cerrar el ciclo de nutrientes a nivel de finca pero también a escala local.

El carbono es necesario para llevar a cabo la fotosíntesis, y también para proporcionar energía a la microfauna del suelo. El CO_2 pasa a formar parte de los carbohidratos en las plantas o animales durante su ciclo, y es liberado al agua o a la atmósfera a través de la respiración. Asimismo, también se libera CO_2 a través del proceso de descomposición que realizan ciertos hongos y bacterias sobre los desechos del metabolismo de las plantas y animales, así como de los restos de organismos muertos. El tiempo de permanencia en la materia viva, muerta o como humus varía mucho, pero para ser reincorporado en forma de biomasa debe retornar a la atmósfera como CO_2 (Gliessman, 2002). La intensificación de la agricultura ha hecho que ésta haya pasado de ser un sumidero de carbono a ser una fuente, indirectamente a través del combustible fósil necesario para producir y transformar insumos industriales y directamente al realizar las labores mecánicas del cultivo. Otras salidas de carbono se deben a la erosión del suelo y la quema de restos de poda. Al reducirse la erosión se reduce la pérdida de carbono desde el suelo (Gómez *et al.*, 2009b; García & Gómez, 2011). La forma más interesante en que el suelo secuestra el carbono es a través de la cubierta vegetal, quedando en parte inmovilizado en forma de humus y en las formas vivas del suelo. Los residuos más lignificados como los de las crucíferas, las gramíneas, las raíces y restos de poda, aportan más carbono al suelo y poseen un coeficiente isohúmico mayor que los residuos sin lignificar o de las leguminosas, que contienen una menor relación C/N, que aumenta conforme la planta fructifica y madura (Domínguez *et al.*, 2002).

El nitrógeno está presente en la atmósfera de manera poco disponible para las plantas y animales, por lo que debe convertirse en otras formas para poder ser utilizado (NH_4^+ , NH_3 , NH_2 , NO_3^- , NO_2^-). Como resultado de simbiosis leguminosa-*Rhizobium*, el nitrógeno de la atmósfera (N_2) es puesto a disposición de los organismos del sistema como amonio. Las leguminosas y las bacterias del género *Rhizobium* pueden sobrevivir en los suelos en los que el nitrógeno es limitante para mantener a otras plantas, siendo indicadoras de la escasez de este nutriente, a la vez que su actividad disminuye cuando los suelos se enriquecen en este elemento. La habilidad de un sistema para satisfacer sus necesidades de nitrógeno de esta forma, es una cualidad emergente hecha posible por la diversidad biótica (Gliessman, 2002). La

leguminosa incorpora el nitrógeno que recibe de los rizobios en su biomasa, y cuando ésta muere y se incorpora al suelo, este nutriente se convierte en parte de la reserva del suelo y está disponible para ser absorbido por otras plantas en forma de nitrato (NO_3^-). Mientras el nitrógeno no abandone el sistema en forma de gas o como amonio u óxido nitroso, puede ser reciclado dentro del ecosistema. Sin embargo, el nitrógeno en forma mineral es un elemento muy móvil en el suelo a través del agua, por lo que los procesos de escorrentía o lixiviación de este nutriente pueden llegar a ser muy importantes y contaminar las aguas superficiales y subterráneas, por lo que se desaconseja aportar fertilizantes nitrogenados debajo del riego y realizar este tipo de fertilización durante el otoño. También son importantes las salidas de este nutriente en forma de gas (N_2) por procesos de desnitrificación. Para minimizar estas pérdidas se debe evitar que coincidan condiciones anóxicas del suelo con niveles medios o altos de nitrato, en presencia de materia orgánica y con temperaturas medias o altas. En verano con estiércoles situados bajo el riego, se puede perder hasta un 30% de nitrógeno por este proceso, mientras que valores medios de pérdidas anuales en condiciones óptimas por este proceso han sido contabilizadas en 1,5kg/ha (García Ruiz *et al.*, 2011). Por otro lado, las pérdidas por volatilización del amonio, se deben a procesos físico-químicos, y aumentan cuanto mayor es el amonio del suelo, el pH, el contenido en carbonatos y la insolación. La salida de amonio se puede reducir enterrando el fertilizante nitrogenado, en vez de dejarlo en superficie y también compostando el estiércol.

En cuanto al fósforo, se incorpora lentamente al suelo procedente de ciertas rocas, a través de la acción de bacterias solubilizadoras. El reciclaje de fósforo en la naturaleza es muy lento, por eso es importante mantenerlo en el agroecosistema (Gliessman, 2002). Una vez en el suelo, puede ser absorbido por las plantas en forma de fosfatos, y formar parte de la biomasa viva, o puede retornar al suelo por la vía de excreciones o descomposición de la biomasa. Este ciclo que involucra a organismos y al suelo, tiende a ser muy localizado en un ecosistema, y tiene como fuente principal la reserva mineral del suelo y la materia orgánica. El fósforo es bastante insoluble a pH inferiores a 6 o superiores a 7,5, reduciéndose su disponibilidad. En términos generales, cuanto mayor sea el contenido en arcillas y limo, mayor será la cantidad de P precipitado/adsorbido y menor será el contenido en P en la solución del suelo, pero mayor el suministro de este cuando escasee el P disponible. Lo contrario ocurre en un suelo arenoso (García-Ruiz *et al.*, 2011). El fósforo orgánico ligado a la materia orgánica, pasa a fósforo disponible en la solución del suelo durante la descomposición de la materia orgánica, sincronizándose con los momentos de demanda de P por parte del árbol. Cuando los fosfatos no son absorbidos pueden lixiviarse, abandonando el suelo y alcanzando las aguas subterráneas; otra salida importante de P es a través de la erosión del suelo.

En el suelo hay mucho potasio pero la gran mayoría no está directamente disponible para las plantas, sino que está formando parte de la reserva del suelo, asociado a los minerales o adsorbido en el complejo de cambio. La velocidad de suministro de potasio disponible para las plantas desde estas reservas está controlada por procesos físico-químicos ligados a las propiedades del suelo, junto con las condiciones climáticas. El suministro de K es más rápido desde la fracción intercambiable y más lento desde la fracción no intercambiable y la mineral. Cuanto mayor es el contenido de agua en el suelo y éste es más arenoso, mayor es la velocidad de difusión de potasio hacia las raíces. Las principales salidas de potasio en el olivar se producen por erosión del suelo y por lixiviación hacia capas profundas. Cuanto menor es la

cantidad de K en la solución del suelo mayor es la velocidad de paso de formas intercambiables o no intercambiables a K asimilable en la solución del suelo, y a la inversa. El K que se aplica con la materia orgánica pasa a la solución del suelo en pocos días, y de ahí a otras formas menos disponibles, ya que éste no forma parte de los compuestos orgánicos, sino que está, principalmente, como catión libre (García-Ruiz *et al.*, 2011).

Hay otros elementos químicos que aunque son requeridos en pequeñas cantidades, son de gran importancia para los organismos. Entre estos micronutrientes están el hierro, el magnesio, el manganeso, el cobalto, el boro, el zinc y el molibdeno. Todos estos nutrientes pueden ser absorbidos por los organismos y almacenados en la biomasa viva o materia orgánica. En caso de que alguno se pierda en cantidades significativas, se puede convertir en un factor limitante para el buen desarrollo de las plantas. Los componentes biológicos de cada sistema son importantes para determinar la eficiencia del movimiento de los nutrientes, un sistema eficiente minimiza las pérdidas y maximiza el reciclaje, lo que puede afectar directamente a la productividad (Gliessman, 2002). Un suelo fértil implica la presencia de una reserva de nutrientes adecuada y la presencia de microorganismos que los fijan, transforman, solubilizan, mineralizan o degradan. Las colonias de microorganismos del suelo están ligadas a la fracción mineral del suelo y a las raíces de las plantas y suelen desarrollarse en los primeros 20 centímetros en condiciones óptimas de humedad, temperatura y pH. Las relaciones simbióticas entre plantas y microorganismos pueden proveer de nitrógeno como en el caso de la simbiosis leguminosa-*Rhizobium*, o bien se puede producir una fijación no simbiótica mediante las bacterias y actinomicetos que fijan nitrógeno atmosférico, o que degradan el P y el Ca, facilitando la fijación simbiótica de nitrógeno. En general la simbiosis se ve favorecida por la pobreza mineral del suelo. Por otro lado, algunos hongos simbióticos favorecen la captación de N, P y K, así como Ca, Mg, S, Cu, Mb, Fe, Mn, formando micorrizas con las raíces.

DINÁMICA DEL AGUA EN EL OLIVAR

En el agroecosistema, el agua tiene un papel principal en el reciclado y la disponibilidad de los nutrientes, siendo el componente limitante para los olivares de secano. El agua no solo media en los procesos biogeoquímicos del reciclado de la materia orgánica y es el motor de los ciclos fisiológicos en las plantas, sino que también añade nutrientes en el agroecosistema (lluvia o riego), o bien los hace salir del mismo (escorrentía o lixiviación) (Tabla III.3). Aunque el ciclo del agua permite que ésta se recicle mediante procesos globales a nivel atmosférico y biogeoquímicos, su contaminación es una de las principales externalidades negativas de la agricultura y conlleva la reducción de la calidad del agua de riego y del agua de boca. La escasez de este recurso en las regiones mediterráneas y el efecto del cambio climático afectarán a medio y largo plazo, a la dinámica del agua en los cultivos, agravando la situación de sobreexplotación de los acuíferos y la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Tabla III.3. Movimientos de agua en el olivar (Adaptado de Pajarón Sotomayor, 2007)

ENTRADAS	SALIDAS	ALMACENAMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> •Precipitación •Riego •Flujo lateral subsuperficial 	<ul style="list-style-type: none"> •Evaporación •Escorrentía •Exportación de biomasa •Transpiración •Percolación 	<ul style="list-style-type: none"> •Biomasa •Reservas de agua en el suelo

Figura III.5. Movimientos de agua protagonistas en cada época del año y sincronía con la evolución fenológica del olivo y de la cubierta vegetal (Foraster *et al.*, 2011).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
	INFILTRACIÓN			EVAPOTRANSPIRACIÓN				EVAPORACIÓN			INFILTRACIÓN		
OLIVO	PARADA		CRECIMIENT O/PRE- FLORACIÓN		FLORACIÓN/ CUAJADO		ENDURECIMIENT O HUESO		PAR ADA	ENVERO Y MADURACIÓN		PARADA	
HIERBA	PARA DA	CRECIMIENTO/FLORACIÓN/FRU CTIFICACIÓN				MADUREZ/SE NESCENCIA		PARADA		ESTABLECIMIENTO/CRE CIMIENTO		PAR ADA	

Puesto que el agua es el factor limitante por excelencia en el secano y para el olivar en Andalucía, poner en práctica estrategias que supongan su ahorro, el mantenimiento de sus reservas y su calidad, a la vez que aumenten la eficiencia en su uso deben ser consideradas como un objetivo principal en la gestión de los olivares. Teniendo en cuenta que el 25% del olivar andaluz se encuentra en régimen de regadío, poner en práctica estrategias de riego deficitario supone una alternativa que garantizaría un impacto potencialmente beneficioso, frente al uso indiscriminado que a menudo se hace de este recurso en el olivar, regando a dosis excesivas durante la mayor parte del año (Ramos & Santos, 2009; Ruiz Sánchez, *et al.*, 2010), incluso en verano, y estimando las necesidades de riego en base a métodos de cálculo poco precisos (Villalobos *et al.*, 2000). En los olivares de secano, puesto que dependen de la precipitación anual, la manera de aumentar la eficiencia en el uso del agua, es disminuyendo su salida del sistema y aumentando la capacidad de almacenamiento del suelo. Esto implica evitar las pérdidas por escorrentía, aumentar la infiltración, aumentar la capacidad de retención en el perfil edáfico, evitar la evaporación directa y reducir o eliminar la transpiración de las plantas adventicias. Algunos aspectos sobre la dinámica del agua en relación a la evolución fenológica del olivar y la cubierta vegetal se esquematizan en la Figura III.5.

Podemos dividir el año en tres períodos: almacenamiento, conservación y sequía. El primero se caracteriza por los movimientos de agua que suponen una recarga del suelo, esto es, la entrada de agua en el suelo por infiltración, y coincide con los meses de otoño e invierno. Asimismo, en este periodo ocurren otros fenómenos no deseables que implican la salida de agua del sistema y reducen la capacidad de almacenaje, como la escorrentía, la erosión y la percolación o lixiviación. Manteniendo cubiertas vegetales en las calles del olivo durante todo el periodo de almacenamiento se pueden aumentar las entradas y minimizar las salidas. Cuanto más densa y uniforme sea la cubierta y cuanto más cierre su estructura horizontalmente sobre el suelo más capacidad de reducir los procesos erosivos y la escorrentía. Por otro lado, la densidad de raíces por metro cuadrado y la extensión de las mismas reducirán los procesos de lixiviación y permitirán un mayor almacenaje de agua, al aumentar la porosidad del suelo. También es importante que la cubierta se establezca pronto en otoño, y que el suelo se mantenga cubierto por los residuos de vegetación provenientes del control de la cubierta en la primavera. Por otro lado, el periodo de conservación de agua se extiende desde finales de marzo hasta finales de junio, coincidiendo con la primavera, y se

caracteriza por ser el periodo en el que el agua se mueve fuera del sistema principalmente por evapotranspiración. Este es el periodo de competencia por el agua entre la cubierta y el olivo, donde deben primar aquellas técnicas que reduzcan la evapotranspiración de la vegetación adventicia. Además, el olivar es muy sensible a la falta de agua antes de la floración y al inicio del endurecimiento del hueso coincidiendo con este periodo. Para reducir las salidas de agua por evapotranspiración se eliminará total o parcialmente la vegetación con aperos ligeros, bien segándola, o incorporándola al suelo superficialmente, en dos ocasiones, que en la mayoría de casos será suficiente. El último periodo coincide con la sequía estival de final de junio hasta final de septiembre, y se caracteriza por la estabilización del agua en el suelo que mantiene un contenido de agua mínimo, por debajo del punto de marchitez permanente, en el que la cubierta se encuentra ausente por la sequedad de la capa más superficial, y el olivo reduce su evapotranspiración hasta que se hace mínima en el mes de agosto, cuando sucede una parada estival. En este periodo el único movimiento posible del agua, además de la transpiración del olivar, es el de evaporación directamente desde el suelo. Tradicionalmente en este periodo se ha realizado un pase de rastra o similar para sellar la porosidad superficial del suelo y levantar polvo de modo que el olivo quede cubierto y reduzca su transpiración.

DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

La materia orgánica es un componente clave para conservar el suelo y mantener la fertilidad química y biológica, ya que reduce su degradación, potencia la dinámica de los ciclos biogeoquímicos, la eficiencia en el uso y conservación del agua y aumenta la biodiversidad edáfica. A su vez, los organismos edáficos regulan la dinámica de la materia orgánica y la emisión de gases de efecto invernadero, a la vez que mejoran la eficacia de adquisición de los nutrientes y estructuran el suelo (Meco *et al.*, 2011). Los principales factores que actúan sobre la evolución de la materia orgánica están relacionados con la composición de la vegetación y su biomasa, la temperatura y la humedad, y la textura, estructura, contenido de arcilla y pH del suelo. La actividad de los microorganismos depende del carbono que almacena el suelo, que determina la disponibilidad de nutrientes, energía y microhábitat. En los ambientes semiáridos, existen dos períodos de parada biológica edáfica, verano por falta de agua e invierno por temperaturas bajas, por lo que la mineralización de la materia orgánica se produce preferentemente en primavera y otoño. Aunque todos los constituyentes orgánicos del sistema pasan al suelo en algún momento, persistiendo más o menos tiempo, las condiciones de escasez de carbono y la flexibilidad bioquímica de los microorganismos, aseguran que no se produzca nunca una gran acumulación de material biodegradable.

En los suelos del olivar, la materia orgánica procede principalmente de los restos de plantas y demás organismos, de abonos orgánicos u organominerales, y de la síntesis, metabolismo y productos de excreción de los organismos edáficos y exudados de la rizosfera. La transformación de la materia orgánica en el suelo, se inicia a partir de compuestos orgánicos heterogéneos, que son biotransformados y procesados en nuevas estructuras, produciéndose variaciones en las características moleculares de los compuestos de carbono por la acción de bacterias y hongos. Por último, sucede la redistribución física y estabilización del carbono gracias a las interacciones con el medio mineral, dando lugar a los procesos de estabilización de la materia orgánica (Meco *et al.*, 2011). La materia orgánica del suelo se puede dividir en materia orgánica viva y materia orgánica no viva, formada por los materiales orgánicos poco

transformados, simples o complejas macromoléculas, derivados de la síntesis y el metabolismo microbiano. Los mecanismos de estabilización del carbono orgánico en el suelo pueden ser químicos, a través de la unión de partículas minerales elementales del tamaño de limos y arcillas con materiales orgánicos, en forma de compuestos organominerales. Pueden ser bioquímicos por la estabilización de la materia orgánica debida a la heterogeneidad de su propia composición química, o bien físicos, protegiendo a la materia orgánica dentro de los agregados del suelo. Todos estos mecanismos de estabilización impiden, en parte, la mineralización o pérdida del carbono orgánico y en ello influye el buen manejo del suelo. Cada componente y cada fracción de la materia orgánica tienen un papel específico sobre una determinada función del suelo. Numerosos estudios sugieren que la biodegradación de la MO del suelo está mediada por la fase acuosa y que la materia orgánica soluble o disuelta podría ser el componente dominante sobre el que actuaría la actividad biotransformadora de los microorganismos (Kalbitz *et al.*, 2003). La materia orgánica particulada, es la fuente metabólicamente más activa del suelo, con una mayor implicación en la actividad macro y microbiana pero contribuye poco a la capacidad de cambio; mientras que el humus contribuye a la capacidad de cambio, a la retención de nutrientes y a la formación de la estructura y a su estabilidad; por otra parte los materiales recalcitrantes como las huminas no participan activamente en ninguna de las propiedades anteriores pero pueden tener un papel importante en la termicidad del suelo y la retención de agua. El humus juega un papel fundamental en el suelo de los cultivos, y sus precursores son macromoléculas de procedencia diversa.

REGULACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

El olivar presenta una abundante y diversa comunidad de enemigos naturales (EN), que pueden desarrollar funciones importantes como agentes de control natural de las plagas del olivo y contribuir a la estabilidad del agroecosistema (Cotes *et al.*, 2010; Campos, 2011) (Tabla 5 del Anexo A). Además, esta estabilidad se ve favorecida por la permanencia del medio, su diversidad estructural, escaso número de parásitos realmente nocivos, y la tolerancia a los daños ocasionados (Duarte *et al.*, 2009). En los cultivos leñosos, la eficaz regulación de plagas pasa por favorecer la presencia y diversidad de la cubierta vegetal (Altieri & Nicholls, 2007). De la totalidad de insectos capturados en olivares tan sólo un 10-15% son fitófagos, y por tanto potencialmente plagas del olivar (Varela & González, 1999). Ruiz & Bueno (2001) determinan que la intensificación en el manejo del olivar empobrece notoriamente la composición de la entomofauna. Asimismo, se ha observado que, los olivares de sierra mantienen una diversidad más alta de artropodofauna que los de campiña, y aunque aparecen representados los mismos grupos, en el olivar de sierra están presentes una mayor cantidad de individuos por grupo, lo que se atribuye a la disponibilidad de recursos y la cercanía de la vegetación natural y un verano más suave (Bueno & Torres, 2000; Ruiz & Bueno, 2001). Varios estudios sugieren el potencial benéfico que supone la vegetación natural asociada a un campo de cultivo en el control biológico, influyendo en el tipo, la abundancia y el tiempo de llegada de los fitófagos y de sus EN, de este modo, en cultivos leñosos, un complejo diversificado de depredadores se desarrolla generalmente al principio de la temporada en las parcelas rodeadas de bosques (Altieri & Nicholls, 2007). También es conocido el efecto negativo que tiene la utilización de pesticidas para las poblaciones de aves y murciélagos, habiéndose reducido su presencia en las últimas décadas (Beecher *et al.*, 2002; Wickramasinghe *et al.*, 2003). Teniendo en cuenta el

beneficio incuestionable que aportan estos grupos en el control biológico, el manejo debe ir dirigido hacia su conservación, mejorando el medio para favorecer su actividad (p.ej. abrevaderos y nidos artificiales) y evitando el empleo de técnicas que la perjudiquen (p.ej. la fertirrigación o la aplicación de pesticidas).

Para el desarrollo del control biológico, una de las relaciones más exploradas ha sido la que se produce entre los insectos fitófagos y sus EN entomófagos y entomopatógenos. La cobertura vegetal de los olivares ecológicos alberga a una gran variedad de himenópteros parasitoides, sobre todo cuanto mayor es el porcentaje de suelo cubierto (Sánchez, 2004). Por otro lado, el manejo convencional del olivar reduce en un 75% la presencia de himenópteros parasitoides frente al ecológico, y afecta también a los depredadores coleópteros, heterópteros, arañas y hormigas (Duarte et al., 2009; Quesada *et al.*, 2009). La abundancia total y diversidad de coleópteros es mayor en olivares ecológicos que en otros tipos de manejo, siendo la familia de los coccinélidos la que se presenta de forma más abundante (Cotes *et al.*, 2009). Sin embargo, independientemente del manejo, el control de la cubierta durante la primavera, su escasa cobertura a final de esta estación y la casi completa desaparición en verano, hacen necesario la planificación de estrategias de manejo y el diseño de estructuras vegetales que garanticen la abundancia de vegetación dentro y alrededor del olivar durante todo el año para que los agentes de control biológico alcancen niveles de población más altos en huéspedes y presas alternativas y persistan en el medio. Por ello son de suma importancia las lindes vegetadas, los setos e islas de vegetación natural, que junto a las cubiertas ofrecen la diversidad funcional necesaria para lograr una eficaz regulación de plagas (Tabla 6 del Anexo A).

Por otro lado, es necesario investigar la calidad de la diversificación vegetal respecto a la abundancia y eficiencia de los EN, puesto que lo que interesa es la diversidad funcional y no la diversidad por sí misma (Duarte et al., 2009). El conocimiento de las mezclas vegetales que impiden la invasión de las plagas y que favorecen a sus EN, permitirá un planteamiento más preciso en el diseño del agroecosistema e incrementará los beneficios asociados. En algunos casos, la dispersión y diversidad vegetal parece influir en la densidad de los fitófagos, al alterar el movimiento del fitófago o su comportamiento de búsqueda. En otros casos, los depredadores y parásitos encuentran un mayor arsenal de recursos alternativos y microhábitats en los cultivos con malas hierbas, por lo que alcanzan mayores niveles de abundancia y diversidad, causando mayor mortalidad en las poblaciones de las plagas (Altieri & Nicholls, 2007). En muchos casos los insectos entomófagos son atraídos directamente por determinadas plantas, aun en la ausencia de su hospedador o presa, mediante la liberación de sustancias químicas de la planta hospedera o de otras plantas asociadas. Las interacciones puede ser muy complejas y suelen implicar a diferentes niveles tróficos y a bastantes especies de plantas, fitófagos y EN. Existen otros factores (p.ej. señales visuales, cambios microclimáticos, etc.) que pueden influir en la localización del hábitat o comportamiento de búsqueda de los fitófagos y de los EN. Por ello, las respuestas de los fitófagos a la diversidad vegetal no son uniformes y no siempre pueden ser explicadas por la propia diversidad.

Los conocimientos actuales sobre las plagas en el olivar y sus EN, junto a las prácticas culturales, y el empleo de medidas de control de plagas selectivas como las trampas con feromonas, deben permitir una aplicación exitosa de las estrategias de control biológico (Campos, 2011). Ciertas plantas acompañantes al olivo pueden proporcionar néctar y polen a

parasitoides (p.ej. himenópteros) y depredadores (p.ej. sírfidos, heterópteros), además de cumplir una función como receptoras de presas y hospedantes alternativos de estos EN en periodos de escasez del fitófago. Las umbelíferas, leguminosas y compuestas albergan un complejo de artrópodos que ayudan a suprimir las plagas. En las inflorescencias de muchas umbelíferas pueden alimentarse larvas y adultos del neuróptero *Chrysoperla carnea*, depredador de *P.oleae*, cochinilla y algodoncillo. Además, a menudo realiza su puesta en la vegetación cercana a los olivos. Es necesario profundizar en el papel de la vegetación adventicia como promotora del control biológico por conservación en el olivar. Un mayor conocimiento de las relaciones tróficas que suceden en el olivar en relación a la diversidad de la flora, contribuiría a poder identificar el tipo de biodiversidad que es deseable mantener con vistas a mejorar la sostenibilidad del agroecosistema (Duarte et al., 2009; Campos, 2011).

Por otro lado, la resistencia y susceptibilidad de los cultivos frente a fitófagos y/o patógenos, permite elegir la variedad adecuada según cuál sea la problemática fitosanitaria dominante de una zona (Civantos, 1999; Trapero et al., 2011). Sin embargo, a menudo la elección del cultivo a implantar se ha hecho en base a otras propiedades como su productividad o adaptación ambiental. Este conocimiento ha sido ampliamente estudiado para el caso de las principales enfermedades, pero no ocurre lo mismo para el caso de las plagas, por lo que la investigación en esta línea será de gran relevancia para los programas de mejora del cultivo (Campos, 2011). Las plantaciones ecológicas asociadas a olivares tradicionales tienen menos riesgo de incidencia de enfermedades por el amplio marco de plantación, así como la menor aplicación de insumos. Por otro lado, el manejo del suelo influye sobre las enfermedades causadas por patógenos edáficos. Para el control de *Verticillium* es conveniente implantar cubiertas vegetales que no sean huéspedes del patógeno como el caso de la alfalfa; el mantenimiento de suelo desnudo con laboreo propicia el movimiento de suelo infectado hacia otras zonas, sobre todo en parcelas en pendiente. Asimismo, la competencia de las cubiertas sembradas con las especies vegetales que son huéspedes del hongo, permiten reducir su inóculo. Se recomienda el enterrado en verde de especies como el Pasto del Sudán o las crucíferas como la colza, el nabo o las coles, ya que liberan sustancias tóxicas para el patógeno y se crean condiciones anaeróbicas que aumentan la actividad microbiana del suelo (Goicoechea, 2009). Para hongos del suelo como *Phytophthora*, *Pythium* o *Armillaria* la cubierta podría reducir el riesgo de infección a través de la mejora del drenaje. En general la menor afectación de patógenos del suelo en olivares ecológicos con cubiertas vegetales, se debe a la mayor diversidad, abundancia y actividad de microorganismos en el suelo (p.ej. *Pseudomonas* y *Trichoderma*) (Aranda, 2010), resultando en una menor capacidad competitiva de aquellos más agresivos que potencialmente pueden dañar al olivo, sin embargo son necesarios estudios que avalen esta hipótesis (Trapero et al., 2011). Algunos trabajos sugieren que la presencia de cubiertas puede causar una mayor incidencia por repilos al aumentar la humedad en el sistema, sin embargo, las investigaciones al respecto no son concluyentes (Aldebis et al., 2005). La fertilización excesiva con nitrógeno y la deficiencia de potasio incrementan la susceptibilidad de los olivos a las enfermedades aéreas y vasculares (Trapero et al., 2011), por lo que es muy importante realizar una fertilización equilibrada para aumentar la resistencia frente a plagas y enfermedades. El uso de enmiendas orgánicas y abonos verdes reduce esta problemática, sin embargo, es necesario realizar un buen compostado de los materiales usados como enmienda (estiércol, hojín de almazara, etc.), ya que pueden contener inóculos de ciertos patógenos.

LAS CUBIERTAS VEGETALES EN LOS CULTIVOS LEÑOSOS MEDITERRÁNEOS

El uso de cubiertas vegetales y abonos verdes se remonta a la antigua China (1134 a.c.). Teofrasto (371-287 a.c.) ya apuntaba que, en partes de Grecia, las habas se enterraban cuando estaban en floración, y que la cebada y el chícharo inhibían el crecimiento de algunas cosechas (Pieters, 1927; Blanco, 2006). En la antigua Roma, Varro (116-27 a.c.) escribió: *"Ciertas plantas se cultivan, como previsión para el próximo año, cortadas y dejadas en superficie mejoran la tierra. Si la tierra es demasiado fina, la práctica es incorporarlo arando como abono, cuando los altramuces aún no han hecho la vaina, y asimismo la haba, si es que aún no ha madurado por lo que es adecuado para cosechar granos"*. Estas prácticas de manejo, surgen de la necesidad de reponer los nutrientes perdidos y mantener la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos. Durante la Edad Media, el uso de estas prácticas disminuyó, aunque derivadas de la tradición romana siguieron utilizándose en el Mediterráneo (Pieters, 1927). Su uso volvió a ser protagonista en Europa a mediados del s. XIX, debido a los avances científicos en el campo de la química y de la nutrición de cultivos (Smil, 2001). Los primeros agricultores, en el suroeste de Asia, ya reconocieron las propiedades restauradoras de las legumbres, y cómo rotar los guisantes y lentejas con los cultivos de cereales. Asimismo, la alfalfa y el trébol ayudaron a fijar nitrógeno en los suelos de tierras de pastoreo (McNeill & Winiwarter, 2004).

En la actualidad, estas experiencias son a menudo de ámbito local, y representadas por pequeñas superficies, como el caso de la moruna (*V. articulata*), cultivada en rotación con otras leguminosas y cereales en almendros, viñas e higueras, con un manejo multifuncional y complejo (Remmers, 2000). Tradicionalmente se han utilizado una gran variedad de cereales y leguminosas junto a las leñosas como una estrategia integral para obtener el máximo aprovechamiento de los recursos con un manejo de bajos inputs en los que el ganado era un componente fundamental. Estas especies han sido mejoradas y domesticadas durante miles de años, propiciando su rusticidad y adaptación a estreses bióticos y abióticos. Sin embargo, muchas de estas variedades locales, se encuentran actualmente en desuso ya que no suponen una alternativa económica (Tabla 7 del Anexo A). Junto a estas plantas cultivadas, coexisten otras silvestres relacionadas filogenéticamente cuyo uso como cubiertas vegetales tiene un gran potencial. La puesta en regadío de grandes superficies y el enfoque de la agricultura industrializada, como un negocio de alimentos, primando la productividad en base a grandes aportes de insumos, tecnologías y energía fósil, ha conllevado una grave erosión genética y de conocimientos asociados al manejo sostenible de los agroecosistemas (Meco *et al.*, 2011). Es destacable el riesgo que, a largo plazo supone la pérdida de productividad y complejidad biológica y económica en las zonas semiáridas del Mediterráneo debido al cambio climático y a las acciones no sostenibles del hombre (UNCCD, 2007). Estos cambios sugieren que los regímenes de precipitación van a disminuir en las próximas décadas, por lo que es necesario un mayor esfuerzo de investigación a partir de la puesta en valor de las variedades locales y la sabiduría vinculada al manejo de los secanos (Meco *et al.*, 2011). A pesar de los escasos reductos representantes de la agricultura tradicional, se ha asistido a un incremento de la superficie destinada a variedades locales, y no exclusivamente por motivos económicos (subvenciones de la UE) sino también por el convencimiento en los beneficios medio ambientales y de gestión de estas especies en el ámbito de la agricultura ecológica (De la Rosa, 2000).

Las cubiertas vegetales deben observarse como estructuras diversificadas asociadas al cultivo principal. Pueden tener un uso concreto en toda su extensión (forraje, semillas, alimentos, melíferas, etc.), pero a la vez, funcionan como indicadoras del estado del suelo, reguladoras y mejoradoras del contenido de agua en el suelo, del contenido en nutrientes, del control de plagas y enfermedades, de la actividad polinizadora, etc. Las cubiertas vegetales intervienen de forma directa e indirecta en el ciclo de nutrientes, el balance energético, el ciclo del agua, las estructuras tróficas, el nivel de biodiversidad o el control biológico. Asimismo, tienen su función a una escala mayor, regulando los procesos hidrológicos a nivel de cuenca, reduciendo los procesos erosivos y la emisión de gases de efecto invernadero, como recurso económico, aportando diversidad al paisaje y aumentando su calidad estética, conservando la flora y la fauna silvestre, como corredores verdes, etc. La cobertura total del suelo, conlleva una mayor protección del suelo frente a la cobertura parcial. El momento de establecimiento y control de la cubierta, dependerán del ciclo del cultivo principal y su manejo, de las condiciones edafoclimáticas, así como de los recursos tecnológicos disponibles. Las cubiertas vegetales pueden estar compuestas por plantas espontáneas, o sembradas, ser estacionales o permanentes, y manejarse como un abono verde o como un acolchado. Su manejo debe planificarse de modo que se obtenga la máxima diversidad temporal, espacial, estructural y funcional. Las condiciones climáticas como la sequía estival, los periodos lluviosos y las bajas temperaturas invernales marcan los tiempos de las prácticas de manejo sobre la cobertura vegetal. Las diferencias en el manejo de la cubierta en distintas regiones andaluzas dependen de aspectos agronómicos, ambientales, culturales y socioeconómicos de cada lugar. En el año 2003 se inició en la provincia de Granada un estudio en torno al manejo de las cubiertas vegetales en el olivar ecológico, en respuesta a las dudas que los agricultores manifestaban tener sobre esta técnica, básicamente qué especies utilizar y cómo manejarlas. Estos estudios suponen el punto de partida de la línea de investigación de la presente tesis doctoral (Foraster *et al.*, 2006a; Foraster, *et al.*, 2006b). El beneficio económico que se obtiene con el manejo de las cubiertas lo supone la reducción en el número de pases de labor y la cantidad de abono que es necesario aportar, su posible aprovechamiento ganadero, bien sea ganado propio o arrendando los pastos entre calles. Esta estrategia resulta en una mejora de la estructura y fertilidad del suelo y reduce los efectos de la erosión, sobre todo en los olivares en pendiente, donde se promueve la creación natural de terrazas. En general supone una mejora en la gestión del olivar, a la vez que, la integración temporal del ganado para el control de las varetas, de la cubierta, y del ramón, facilita el manejo en parcelas con fuertes pendientes.

LA EROSIÓN: PÉRDIDA DE SUELO Y ESCORRENTÍA

La erosión se suma a la escasez de agua y al clima como limitantes de la capacidad productiva de los agroecosistemas en las regiones semiáridas del Mediterráneo, ya que reduce la fertilidad física, química y biológica del suelo, afectando a sus funciones básicas. Aunque la erosión hídrica provoca graves procesos degradativos, la erosión mecánica también es importante, ya que supone la movilización de un considerable espesor de suelo de toda la superficie cultivada, tantas veces como labores se realicen al año. De este modo, la tasa de erosión mecánica puede llegar a ser superior a la tasa anual media de erosión hídrica (Casalí *et al.*, 2009; Meco *et al.*, 2011). La erosión hídrica se produce por un exceso de acumulación de agua sobre el suelo por una baja capacidad de infiltración (Meco *et al.*, 2011), y esto sucede tras tormentas aisladas con una alta intensidad de lluvia, o bien, cuando ocurren varios días de

lluvia consecutivos. Existen varias técnicas para la conservación del suelo y del agua en los agroecosistemas frente a los procesos erosivos (Tabla IV.1).

Tabla IV.1. Técnicas para la conservación del agua y del suelo (Guzmán *et al.*, 2000; Meco *et al.*, 2011; Maetens *et al.*, 2012)

TÉCNICAS DE LABOREO	
No laboreo	Con suelo cubierto y control mediante la siega mecánica o pastoreo
Mínimo laboreo	Reducción de la profundidad de laboreo (laboreo superficial)
Laboreo de contorno	Laboreo a nivel, perpendicular a la máxima pendiente
Labores sin volteo	No utilizar aperos que volteen el suelo como las vertederas y discos
Labores verticales	Minimizar la movilización del suelo, frente al laboreo horizontal
CUBIERTA DEL SUELO	
Cubiertas vegetales	Mantener los suelos con cubiertas sembradas o espontáneas
Acolchados inertes	Cubrir la superficie con restos de poda, paja, piedras o malla geotextil
BLOQUEO DE SEDIMENTOS	
Franjas amortiguación	Vegetación paralela al contorno
Terrazas	De piedras o tierra paralelas al contorno impiden los movimientos de suelo
Caballones de contorno	De piedras o tierra paralelos al contorno, puesta en práctica en viñedos
Control de cárcavas	Cárcavas vegetadas, colocación de diques, arbustos, etc.
REDUCCIÓN DE LA ERODIBILIDAD DEL SUELO	
Zanjas de infiltración	Pequeños canales que conectan con las pozas a pie de árbol
Redistribución del suelo	Dirección/es de laboreo que reducen el movimiento de suelo ladera abajo
Uso de materia orgánica	Mejora la estructura del suelo y la capacidad de almacenar agua
Reducción del uso de	Sobre todo junto al no laboreo y suelo desnudo degrada la estructura del
Reducción del laboreo	Reducir la frecuencia de las labores

En ocasiones, la simple implantación de alguna de las técnicas de conservación no conlleva una reducción de los procesos erosivos, asimismo, en situaciones extremas y de alto riesgo de degradación de los suelos (compactación, sellado, baja permeabilidad, etc.) hace falta poner en práctica varias medidas de conservación de forma conjunta basadas en evaluaciones locales (Zuazo & Pleguezuelo, 2008; Gómez *et al.*, 2011), y diseñar estrategias de actuación a nivel de cuenca o paisaje (Hooke & Sandercock, 2012). Existen una serie de condicionantes o situaciones que conducen a una mayor erosión y mayores procesos degradativos de suelos y aguas, sobre todo durante periodos de lluvias intensas. En primer lugar, la expansión de olivares, almendros y viñas, se ha realizado en muchos casos hacia tierras marginales situadas en altas pendientes, suelos muy pedregosos o en terrazas inestables (Van Wesemael *et al.*, 2006; García Ruiz, 2010). Igualmente, la puesta en riego de grandes parcelas de secano en suelos desestructurados o demasiado salinos ha propiciado la formación de cárcavas y la salinización de aguas fluviales (García Ruiz, 2010). En el caso del cultivo del almendro Van Wesemael *et al.*, (2006) observan que el mantenimiento del suelo desnudo y el laboreo frecuente conlleva que los suelos se vuelvan gradualmente más delgados y pedregosos, a la vez que se destruyen las raíces en el perfil laboreado. Bellin *et al.*, (2011) apuntan que, los suelos se erosionaron en el pasado hasta tal punto que hoy en día no se produce un mayor arrastre de sedimentos debido a la poca profundidad del suelo y su enriquecimiento residual en arcillas y piedras, con menor erodibilidad. Por otro lado, el pastoreo excesivo en campos

abandonados puede acarrear una mayor degradación de los suelos (Ries, 2010), los empobrece, y en algunos lugares desmorona las terrazas. En otros casos, las terrazas por las que circula la maquinaria se han ido ensanchando y siendo cada vez más vulnerables a la erosión, con lo que no retienen el agua y los sedimentos. Otro caso concreto es el de las terrazas de tierra que pueden llegar a ser fuente de sedimentos ladera abajo si no se manejan y se mantienen de forma adecuada (Bellin *et al.*, 2009), reduciendo el contenido de materia orgánica del suelo y su profundidad (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009 y 2010). Durán *et al.*, (2012b), en una pequeña cuenca en Lanjarón, observan que debido a la deforestación y al incremento de cultivos abandonados aumentó la escorrentía y la cantidad de solutos exportados, con una concentración de potasio por encima de los límites tolerables, lo que conlleva la degradación de las aguas superficiales y de los suelos irrigados.

Mientras que la formación de 5 centímetros de suelo puede necesitar cientos de años, ese mismo espesor de suelo puede ser eliminado en una única tormenta (De Alba, 2002). De forma general, los valores de tolerancia a la erosión son de 11,2 Mg/ha y año para los suelos más profundos (>150 cm) y 2,2 Mg/ha y año en suelos poco profundos (<25 cm). Sin embargo, si se estima la tolerancia a la erosión con la condición de mantener la productividad de los suelos durante un plazo de al menos 1.000 años, la tolerancia máxima de pérdida de suelo es de 7,1 Mg/ha y año para suelos profundos, y tan solo de 0,2 Mg/ha y año para los menos profundos (Moreira 1991). En España, en 1991, la tasa de erosión anual media ascendía a 23,37 Mg/ha y año, y el 73% de las pérdidas de suelo se daba para la agricultura extensiva en cultivos arbóreos, viñedos y herbáceos de secano (De Alba, 2002). En un reciente análisis sobre la erosión en Europa y el Mediterráneo, Maetens *et al.*, (2012) señalan que, los cultivos permanentes como el olivar, el almendro o la viña contribuyen de forma muy importante a la pérdida de suelo total en Europa y concretamente en la región mediterránea (Tabla IV.2).

Por un lado, las pérdidas de suelo y la escorrentía están positivamente relacionadas con la pluviometría anual, acentuándose a medida que ésta aumenta en un gradiente que va desde los suelos desnudos hasta las dehesas. Por otro lado, los mayores valores de pérdida de suelo suelen corresponderse con los valores más altos para la escorrentía, sobre todo en los cultivos arbóreos y suelos desnudos. Asimismo, se observa que, el tipo de uso del suelo, está más fuertemente relacionado con la pérdida del mismo que con la escorrentía (Tabla IV.2).

Tabla IV.2. Valores de escorrentía y pérdida de suelo y su correlación con la longitud de la ladera (L) la pendiente (S), la combinación de longitud y pendiente (LS) e intervalo de precipitación (P) en que aumentan notablemente estos dos parámetros para distintos usos del suelo en el Mediterráneo (Maetens *et al.*, 2012). [L=20-30 m; S>15-20%]

	Escorrentía (mm)				Pérdida de suelo (tn/ha y año)				
	Media	L	S	P (mm)	Media	L	S	LS	P (mm)
Desnudo	36	0,02	NS	500-750	9,1	0,04	NS	<0,01	250-500
Arbóreos	52,7	<0,01	NS	500	11,6	<0,01	NS	<0,01	500
Viña	47,6	NS	NS	500-750	1,8	<0,01	NS	NS	500-750
Pasto	11,7	0,02	<0,01	750	0,6	NS	NS	NS	500-750
Dehesa	19,6	NS	NS	1000	0,8	NS	NS	NS	1000

La cobertura vegetal del suelo es un importante factor que determina las pérdidas anuales de suelo (Joffre & Rambal, 1993; Maetens *et al.*, 2012). De este modo, se pueden agrupar los suelos desnudos junto a los suelos de cultivos leñosos y viñas, caracterizados por un mayor grado de perturbación antropogénica y un intensivo laboreo del suelo, por lo que es frecuente que las pérdidas de suelo sobrepasan el límite tolerable. Por otro lado, se agrupan los suelos que presentan vegetación seminatural, como el caso de los pastos, dehesas y bosques, ilustrando el control principal que tiene la cobertura vegetal y el uso del suelo sobre las pérdidas anuales de suelo y escorrentía, registrando los valores más bajos para ambos parámetros, debido a una mayor densidad de raíces, rugosidad y macroporosidad del suelo que favorece la infiltración de agua. En los viñedos la pérdida de suelo, es mayor cuando se producen replantaciones periódicas, debido a la intensa perturbación del suelo. También ocurre esto después de su establecimiento, reduciéndose la pérdida de suelo de forma significativa conforme pasan los años, al igual que en el olivar, donde además se reduce la escorrentía a medida que los árboles crecen y se desarrollan sus copas (Gómez *et al.*, 2009a).

El hecho que en el Mediterráneo se presenten altos valores de escorrentía se debe a la combinación de las propiedades del suelo, las escasas y discontinuas coberturas vegetales y la estacionalidad de las lluvias, concentradas en pocos eventos durante cortos periodos de tiempo. De este modo, mientras que las reducciones en la pérdida de suelo a través del establecimiento de cubiertas vegetales son significativas, las reducciones en la escorrentía son menos acusadas debido a periodos muy lluviosos en los que el suelo está casi saturado (Gómez *et al.*, 2010 y 2011). Es destacable el hecho que, la mayor escorrentía en las zonas del Mediterráneo no supone una mayor pérdida de suelo en comparación con las zonas templadas o húmedas, esto podría explicarse por una mayor ocurrencia de suelos cubiertos por piedras, o ricos en arcillas (Maetens *et al.*, 2012), con menor erodibilidad, y por diferencias en la frecuencia y profundidad del laboreo. De forma general, la instalación de cubiertas vegetales reduce la pérdida de suelo en los cultivos leñosos frente al laboreo y al suelo desnudo (Tabla IV.3), y su recuperación es fundamental para conservar el suelo, el agua, la energía y la diversidad biológica (Zuazo & Pleguezuelo, 2008). El porcentaje de cobertura y el tipo de vegetación son determinantes para controlar la erosión de forma eficaz (Pastor *et al.*, 1997), y aunque algunos estudios ensayan cubiertas en franjas (40% de cobertura) obteniendo buenos resultados, en general se considera una cobertura óptima cuando supera el 70%, mostrándose muy eficaz en el control de la erosión. Sin embargo, se observa como tras la implantación del manejo con cubiertas, éstas no alcanzan una cobertura óptima hasta el tercer año, sobre todo en el caso de cubiertas de arvenses tanto en olivar como en viña (Pastor *et al.*, 1997; Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2000 y 2005). Asimismo, los residuos de las cubiertas que permanecen más tiempo sobre el suelo permiten un mayor control de la erosión, al igual que los restos de poda en las calles, que reducen hasta un 72% la pérdida de suelo frente al laboreo convencional (Rodríguez Lizana *et al.*, 2008).

Los estudios muestran como, el mantenimiento de cubiertas vegetales conlleva una disminución de un 50-90% en los valores de escorrentía frente a los suelos manejados con no laboreo y suelo desnudo, y una reducción de un 40-60% frente al laboreo convencional (Cuadros *et al.*, 1993; Cárceles *et al.*, 2009 y 2010; Gómez *et al.*, 2009a, 2010 y 2011; Márquez *et al.*, 2010). Asimismo, aunque en ocasiones los suelos laboreados puedan presentar menor escorrentía frente a los vegetados, por una mayor rugosidad en los primeros, y problemas de

compactación en los segundos, el manejo con cubiertas vegetales siempre supone un menor arrastre de pesticidas y nutrientes en el agua de escorrentía (Francia *et al.*, 2000; Gómez & Giráldez, 2007; Gómez *et al.*, 2009b y 2011; Márquez *et al.*, 2010;). Las cubiertas perennes presentan menores valores de escorrentía que las anuales (Ruiz-Colmenero *et al.*, 2011), sobre todo para los leñosos en fuertes pendientes (Cárceles *et al.*, 2009 y 2010; Durán *et al.*, 2012a).

Tabla IV.3. Pérdidas de suelo (Mg/ha y año) en cultivos leñosos en Andalucía y España en función del manejo del suelo y del tipo de cubierta vegetal.

	Almendro	Olivo	Viña
Laboreo convencional (3-6 pases de labor al año)	26,6 (Van Wesemael <i>et al.</i> , 2006) 24,5 (Cuadros <i>et al.</i> , 1993)	3,3-4 (Taguas <i>et al.</i> , 2012); 2,9 (Gómez <i>et al.</i> , 2009a); 22,9 (Gómez <i>et al.</i> , 2010); 10 (Francia <i>et al.</i> , 2000); 12,5 (Pastor <i>et al.</i> , 1997); 2-65 (Gómez y Giráldez, 2007)	39,7 (Martínez Murillo <i>et al.</i> , 2011) 5,88 (Ruiz Colmenero <i>et al.</i> , 2013) 30 (Casalí <i>et al.</i> , 2009) 0,35-1,79 (Ruiz Colmenero <i>et al.</i> , 2011) 0,5-57,3 (Maetens <i>et al.</i> , 2012)
	54,4 (Martínez Murillo <i>et al.</i> , 2011)		
	10-20 y hasta 151 (Maetens <i>et al.</i> , 2012)		
		1,4-90 (Gómez <i>et al.</i> , 2011)	
No laboreo suelo desnudo	6,6 (Cuadros <i>et al.</i> , 1993)	6,9 (Gómez <i>et al.</i> , 2009a); 40 (Francia <i>et al.</i> , 2000); 4,5 (Pastor <i>et al.</i> , 1997)	
Cubierta vegetal (Anual o perenne/natural o sembrada)	0,2-0,68 <i>Tomillo</i> (Durán <i>et al.</i> , 2012a); 0,4 <i>Tomillo</i> (Cárceles <i>et al.</i> , 2009); 1,46-6,81 <i>Veza</i> (Durán <i>et al.</i> , 2012a); 5,2 <i>Lenteja</i> (Cárceles <i>et al.</i> , 2009); 0,87-1,95 <i>Cebada</i> (Durán <i>et al.</i> , 2012a); 2,4 <i>Arvenses</i> (Cuadros <i>et al.</i> , 1993)	0,04-42,7 (Gómez <i>et al.</i> , 2011)	
		2-3,5 <i>Arvenses</i> (Taguas <i>et al.</i> , 2012); 0,8 <i>Cebada</i> (Gómez <i>et al.</i> , 2009a); 1,7 <i>Ballico</i> (Gómez <i>et al.</i> , 2010); 3 <i>Cereal</i> (Francia <i>et al.</i> , 2000); 0,5 <i>Cereal</i> (Pastor <i>et al.</i> , 1997); 0,06-0,9 <i>Lolium</i> (Gómez & Giráldez, 2007)	0,02-0,32 <i>Brachypodium, cebada, secale y arvenses</i> (Ruiz-Colmenero <i>et al.</i> , 2011) 0,78 <i>Brachypodium</i> (Ruiz Colmenero <i>et al.</i> , 2013) 1,27 <i>Secale</i> (Ruiz Colmenero <i>et al.</i> , 2013)

Según los estudios antes mencionados, las cubiertas poco desarrolladas, con poca biomasa y escasa cobertura, sobre todo las espontáneas en fuertes pendientes en los primeros años del cambio de manejo, reducen en menor medida la escorrentía. Igualmente, se ha documentado leñosos con altas pendientes, que las cubiertas de tomillo y romero se muestran más eficaces que las leguminosas o las gramíneas para reducir los procesos erosivos, debido a su carácter perenne y su elevada cobertura del suelo, formando una red vegetal en estrecho contacto con la superficie del suelo, en contraste con las de cebada, veza y lenteja que tienen un crecimiento más vertical y con una biomasa aérea más abierta (Cárceles *et al.*, 2010; Durán *et al.*, 2012a). También la hojarasca generada tiene un papel importante en la protección del suelo, de la más persistente del tomillo, seguida por las gramíneas, a la más fácilmente biodegradable de tipo anual como la veza (Durán *et al.*, 2012a). Sin embargo, la incorporación de materia orgánica al suelo, por medio de las cubiertas anuales y especialmente por la veza, con un sistema radical profundo y nódulos fijadores de nitrógeno, puede realizarse a corto

plazo en contraste con el tomillo. La arquitectura de las hierbas, su ciclo de vida, el tipo de residuos generados, así como el tipo y momento de control influirán sobre las tasas de erosión y escorrentía. Las especies de pequeña talla, las rastreras, las formadoras de macollas, con rosetas basales, o con distribución agregada suponen una barrera más eficaz al agua en su movimiento ladera abajo, frente a las de crecimiento vertical o desprovistas de tallos cerca del suelo. Igualmente, las plantas con tallos horizontales, que logran cerrar el vuelo entre ellas, reducen la energía con la que las gotas de lluvia impactan en el suelo.

En el Mediterráneo, el volumen de escorrentía está más determinado por la baja permeabilidad del suelo, debida al sellado y a la compactación de las capas superficiales, que por la cobertura del suelo. La escasa penetración de agua, y la presencia de costra superficial y sellado, conlleva un reducido contenido en materia orgánica en los 3-5 centímetros de profundidad y resulta un limitante para la producción de los cultivos (Folouronso *et al.*, 1992; Gómez, 2005), a la vez que limita la capacidad de infiltración, y aumenta el riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica. La presencia de densas capas de suelo, resulta de la compactación creada por el tránsito de maquinaria (Folouronso *et al.*, 1992; Gómez, 2005; Meco *et al.*, 2011) y está directamente relacionada con el peso del tractor que realiza las labores sobre el campo (Tolón-Becerra *et al.*, 2012). Las marcas de rodadura compactan el suelo y reducen la infiltración, encharcándose con facilidad y aumentando la erosión, sobre todo cuando se transita con el suelo húmedo (CAP, 2009; Meco *et al.*, 2011). Las cubiertas tienen la capacidad de aumentar la permeabilidad del suelo y la tasa de infiltración; se han registrado reducciones de la compactación frente al suelo desnudo con laboreo convencional, en almendros con cubierta de arvenses, leguminosas o cereales (Folouronso *et al.*, 1992), en viñedos con cubiertas permanentes de gramíneas o arvenses (Ruiz-Colmenero *et al.*, 2011) o en el olivar con cubiertas de cereales (Castro *et al.*, 1992; Gómez, 2005). No obstante, cuando se mantienen las cubiertas vegetales varios años seguidos y no se labra se producen problemas de compactación superficial y se reduce el índice de cobertura (Gómez, 2005; Virto *et al.*, 2012;). Alcántara *et al.*, (2008) apuntan que este problema se puede paliar con la siembra de especies capaces de aliviar la compactación, con un sistema radicular profundo y pivotante; otros autores recomiendan realizar alguna labor de forma puntual (Moreno *et al.*, 2011). En ocasiones, se observa una menor escorrentía en las parcelas con laboreo convencional respecto a las parcelas con cubiertas segadas (Francia *et al.*, 2000; Gómez *et al.*, 2011), sin embargo, la mayor infiltración en suelos labreados frente a las cubiertas vegetales es solamente temporal y presenta una marcada variabilidad, ya que a través del año, el cambio en la estructura del suelo conduce a la compactación, sellado y aumento de la erosión y escorrentía (Gómez, 2005; Ruiz Colmenero *et al.*, 2011). Similares observaciones realizan Hernanz *et al.*, (2010) en cultivos herbáceos, donde la compactación del suelo labrado alcanza los valores del no labrado al final de la campaña de cultivo.

REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las cubiertas vegetales tienen la capacidad de actuar como sumidero de carbono atmosférico almacenándolo en el suelo, y por tanto, reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera (Manns *et al.*, 2007; Castro *et al.*, 2008; Nieto *et al.*, 2013). En cuanto al sistema de manejo, se ha observado como los valores de carbono orgánico alcanzan niveles significativamente mayores (14%) en los manejos basados en el no laboreado frente a los suelos labrados

(Hernández *et al.*, 2005; Castro *et al.*, 2008; Hernanz *et al.*, 2010). González Sánchez *et al.*, (2012) determinan que las cubiertas espontáneas fijan más carbono en el suelo que las cubiertas sembradas, mientras que Repullo-Ruibérriz de Torres *et al.*, (2012) señalan, en olivar, que las cubiertas de *Sinapis* promueven una mayor fijación que las cubiertas de *Brachypodium*, de adventicias o de *Eruca*. Por otro lado, la liberación de metano desde el suelo tiene lugar en suelos encharcados con niveles relativamente elevados de materia orgánica (García & Gómez, 2011). En regiones con bajas precipitaciones, la oxidación es superior a su producción y, en general, se comportan como sumidero más que fuente de metano. En cualquier caso, la reducción del laboreo y la optimización de la fertilización nitrogenada son las principales estrategias de reducción de estas emisiones. Las cubiertas vegetales, al promover una mejora estructural del suelo y del drenaje, reducen la incidencia de encharcamientos, a la vez que la fijación simbiótica de nitrógeno reduce las necesidades de aporte de fertilización nitrogenada mineral, y su uso como abono verde permite una mayor sincronización entre la oferta y la demanda de este nutriente reduciendo su lixiviación y volatilización. Las principales causas de emisión de N_2O en la agricultura son los fertilizantes nitrogenados de síntesis y los estiércoles, y generalmente aumentan conforme lo hacen las entradas de nitrógeno en el agroecosistema, debido a procesos de nitrificación y desnitrificación. Se ha determinado que la proporción de nitrógeno emitido en forma de N_2O con respecto al total aportado promedia 1,7 % en el caso de estiércol líquido, 0,3 % en forma de estiércol compostado maduro y 1,2 % cuando se aporta en forma de fertilizante sintético a un cultivo perenne (García & Gómez, 2011). Según Aguilera *et al.*, (2013) las prácticas que ayudan a reducir las emisiones de N_2O de forma efectiva son: la minimización de las aplicaciones de agua, la mejora en el manejo de los residuos de cosecha y el ajuste en el reciclaje de nitrógeno a través de su inmovilización en el suelo. Se estima que anualmente se fijan unos 44 millones de toneladas de nitrógeno por las leguminosas cultivadas (Jenkinson, 2001), lo que equivaldría a un ahorro de hasta 10 billones de dólares en fertilizantes (Graham & Vance, 2003), así como la reducción de las emisiones de CO_2 debido a su fabricación y su posterior participación en las emisiones de óxido nitroso. El mantenimiento de cubiertas vegetales, el abonado orgánico equilibrado, y la menor intensificación en el manejo del suelo contribuyen a alcanzar estos objetivos y por tanto implican una menor emisión de gases de efecto invernadero.

PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS

La calidad del suelo depende de un gran número de propiedades físicas, químicas y biológicas, que deben ser evaluadas en su conjunto como indicadoras de la salud del suelo y su vulnerabilidad ante los agentes degradativos. Por un lado, cada vez son más los estudios que constatan que el laboreo intensivo resulta en una reducción de la calidad físico-química y biológica del suelo en las regiones semiáridas (Unger *et al.*, 1991; Zuazo & Pleguezuelo, 2008; Moreno *et al.*, 2011; García-Orenes *et al.*, 2012; Atucha *et al.*, 2012). Esto sucede en cultivos de viña (Casalí *et al.*, 2009; Martínez-Casasnovas, 2009; Peregrina *et al.*, 2010 y 2012; Coll *et al.*, 2011; Ruiz-Colmenero *et al.*, 2011 y 2013) almendro (Van Wesemael *et al.*, 2006; Zornoza *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010, 2011a y b) y olivar (Castro *et al.*, 1992; Gómez, 2005; Gómez *et al.*, 2011; Aranda *et al.*, 2011; Nieto *et al.*, 2012). Asimismo, el laboreo frecuente del suelo, incluso manejado a baja intensidad y superficialmente causa pérdidas de suelo insostenibles (Gómez *et al.*, 2010). Por otra parte, el uso de cubiertas mejora la fertilidad y calidad del suelo

y aumenta su diversidad y capacidad para almacenar agua y reciclar nutrientes (Foluronso *et al.*, 1992; Pastor *et al.*, 2000; Dabney *et al.*, 2001; Hernández *et al.*, 2005; Manns *et al.*, 2007; Gómez & Giráldez 2007; Zuazo y Pleguezuelo, 2008; Gómez *et al.*, 2009; Taguas *et al.*, 2012;).

En general, el tipo de manejo del suelo es el factor para el que las variables físico-químicas (p.ej. estabilidad de los agregados, el carbono soluble, el contenido de nitrógeno) y biológicas (p.ej. actividad enzimática hidrolítica) son más sensibles, aunque el sistema de producción (ecológico, convencional e integrado) también permite registrar diferencias en las variables medidas en distintos suelos (Ramos *et al.*, 2010; Benítez *et al.*, 2006). Sin embargo, mientras que las diferencias en las propiedades biológicas, aparecen al primer año del cambio de manejo del suelo, los cambios en las propiedades físicas de las capas superficiales aparecen a medio y largo plazo (Virto *et al.*, 2012). Así, Zornoza *et al.*, (2009) observan que las propiedades bioquímicas del suelo son más sensibles a los cambios en el tipo de uso del suelo (mantenimiento de cubiertas, fertilización orgánica, eliminación del laboreo, etc.) que las físico-químicas, siendo necesarios más de diez años para alcanzar la total recuperación de las propiedades del suelo en las condiciones semiáridas del Mediterráneo.

Las fracciones lábiles de la materia orgánica, son más sensibles al manejo del suelo y están relacionadas con la actividad microbiológica, que puede ser evaluada a través de ciertos indicadores enzimáticos de fácil medición que varían a corto plazo en respuesta a los procesos que suceden en el suelo. Los enzimas integran tanto el estado microbiano del suelo como sus propiedades bioquímicas y físicas. Los más utilizados son, la deshidrogenasa, como medida de la actividad oxidativa total de los microorganismos, y la actividad enzimática hidrolítica, en base a la actividad β -glucosidasa, que interviene en el ciclo del carbono, la ureasa en el ciclo del nitrógeno, la fosfatasa alcalina que interviene en el ciclo del fósforo y la aril-sulfatasa en el ciclo del azufre (Benítez *et al.*, 2006; Okur *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010; Virto *et al.*, 2012). Por otro lado, la difenoloxidas cataliza la oxidación de los componentes fenólicos a quinonas, participando en la formación de ácidos húmicos, y su actividad indica la capacidad de los microorganismos para degradar las sustancias orgánicas recalcitrantes. También es frecuente utilizar la biomasa microbiana, su respiración basal y su riqueza y diversidad funcional, y en ocasiones, la densidad de lombrices del suelo (Hernández *et al.*, 2005; Okur *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2009; Virto *et al.*, 2012).

Varios estudios concluyen que, el no laboreo con suelo desnudo endurece las capas superficiales del suelo, y conlleva una mayor degradación del mismo por procesos erosivos (Foluronso *et al.*, 1992; Gómez *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2000; Gómez, 2005; Peregrina *et al.*, 2012; Virto *et al.*, 2012;). Por el contrario, las cubiertas vegetales protegen al suelo, lo sujetan, y mejoran su estructura, sobre todo cuando se manejan sin laboreo (Castro *et al.*, 2008). Asimismo, el endurecimiento del suelo debido al laboreo convencional, sucede justo por debajo de la profundidad de laboreo, en lo que se denomina suela de labor (Castro *et al.*, 1992 y 2008; Virto *et al.*, 2012). Este hecho, unido a la menor densidad aparente en la capa laboreada, puede ocasionar que el agua quede retenida en este perfil impidiendo la recarga de las capas más profundas (Castro *et al.*, 2008). En los suelos con cubierta vegetal se registra un aumento de la permeabilidad y de la capacidad para acumular agua (Foluronso *et al.*, 1992; Ruiz Colmenero *et al.*, 2013), por efecto de las raíces, que esponjan el suelo y procuran canales de infiltración (Hernández *et al.*, 2000; Dabney *et al.*, 2001). Este efecto resulta en una menor

densidad aparente, un aumento de la aireación, la porosidad y, una mejora de la estructura del suelo, sobre todo en los primeros 5 centímetros cuando no se laborea (Virto *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2008). Todo ello supone una menor escorrentía, pérdida de suelo, nutrientes, y arrastre de plaguicidas (Gómez, 2005; Gómez & Giráldez, 2007; Gómez *et al.*, 2009b y 2011; Márquez *et al.*, 2010; Ruiz Colmenero *et al.*, 2013).

Por otro lado, el manejo del suelo con cobertura vegetal aumenta el contenido de materia orgánica y la estabilidad de los agregados del suelo en olivar, vid y almendro (Gómez *et al.*, 2009a; Peregrina *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2011), y en viñedos ecológicos conforme aumentan los años desde su conversión (Coll *et al.*, 2011). La estabilidad de los agregados está ligada con la capacidad de retener agua, con la materia orgánica, con la actividad microbiana y con las prácticas de manejo. Sin embargo, en los suelos ricos en carbonatos, la relación de la agregación con la materia orgánica es más débil que en los poco carbonatados (Fernández Ugalde *et al.*, 2011). Mantener el suelo sin mover está asociado a un mayor contenido de materia orgánica en los 10 primeros centímetros del suelo frente al laboreo convencional, debido a la acumulación de residuos y la mayor densidad de raíces (Hernanz *et al.*, 2010), lo que le confiere mayor estabilidad a los agregados del suelo y una mayor resistencia ante la degradación física (Virto *et al.*, 2012). Este efecto se acentúa cuando se maneja el suelo con cubiertas y fertilización orgánica comparado con la fertilización mineral (Ramos *et al.*, 2010, 2011a y b). Aranda *et al.*, (2011) comparando el manejo ecológico y convencional del olivar en Sierra Mágina, determinan que el manejo ecológico incrementó el carbono total, el extracto húmico y las fracciones húmicas en la capa más superficial. La estabilidad de los agregados está correlacionada con el agua disponible, la biomasa microbiana, su diversidad, la actividad enzimática y con la densidad de lombrices, lo que indica que, una mayor estabilidad estructural del suelo ofrece las condiciones óptimas para el desarrollo de la actividad biológica en las capas superficiales y viceversa. Ramos *et al.*, (2010) observan un mayor pH en los suelos de almendro laboreados y valores significativamente más ácidos para los suelos vegetados.

En cultivos de olivar, vid y almendro, las prácticas de manejo que eliminan la labranza y utilizan cubiertas vegetales mejoran la relación C/N del suelo, aumentan el contenido en carbono y nitrógeno (Nieto *et al.*, 2012; Mazzoncini *et al.*, 2011; Ruiz Colmenero *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2005), así como el potasio disponible a medida que aumenta el tiempo desde la conversión a agricultura ecológica (Ramos *et al.*, 2011b; Coll *et al.*, 2011). En el manejo con no-laboreo y suelo desnudo, la ausencia de vegetación, resulta en los menores valores de carbono orgánico y nitrógeno (Castro *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2005). Por el contrario, el uso de cubiertas vegetales incrementa el carbono orgánico del suelo debido a un mayor aporte de biomasa y de carbono total (Nieto *et al.*, 2013). La cantidad de materia seca medida en cubiertas espontáneas de arvenses en olivar y viña, es de entre 5 y 10 Mg/ha (Castro *et al.*, 2008; Clark, 2008). El contenido medio de carbono orgánico en los suelos con cubiertas vegetales en las regiones semiáridas oscila entre 25 y 42 Mg/ha en los primeros 30 centímetros de suelo, mientras que la cantidad de carbono fijado en suelos de olivar con cubiertas vegetales es de 6 Mg C/ha (Castro *et al.*, 2008; Nieto *et al.*, 2012 y 2013). West & Post (2002) determinan que el paso del laboreo convencional al no laboreo permite un incremento medio de carbono orgánico de 5,7 Mg/ha y año y las rotaciones de cereales y leguminosas permiten incrementarlo en 2 Mg/ha y año (Hernanz *et al.*, 2010). La variación en

el aumento del contenido de carbono alcanza su valor máximo entre los 5 y 10 años y tiende a mantenerse constante a partir de los 15-20 años desde el inicio del cambio de manejo.

El establecimiento de cubiertas vegetales permanentes en viñedos, incrementa el contenido del suelo en carbono total y orgánico y en nitrógeno potencialmente mineralizable, registrando los mayores valores en la capa superficial (Peregrina *et al.*, 2010). En este estudio, tras cinco años, se redujo el contenido en nitratos e incrementó el carbono soluble y el amonio en los 45 primeros centímetros (Peregrina *et al.*, 2012), lo que se atribuye a la inmovilización por una mayor actividad microbiana y el reciclado de nitratos. Sin embargo, en suelos de olivar, tras cinco años de manejo de cubiertas anuales, se observa como la cantidad de nitratos en la capa más superficial del suelo mejora en gran medida en los tratamientos con cobertura vegetal segada, frente al no laboreo con suelo desnudo (Hernández *et al.*, 2005). Estos autores también registran al finalizar el ensayo, una relación C/N significativamente mayor en los suelos manejados con cubierta espontánea, frente a las cubiertas de veza. Castro *et al.*, (2008) determinan que la mayor relación C/N se da en las capas superficiales del suelo, con los mayores valores en cubiertas naturales controladas con herbicidas y los menores en el suelo con cubierta segada y gradeada. En cualquier caso, el contenido de carbono juega un papel fundamental para prevenir la erosión y el sellado superficial, y está altamente correlacionado con el contenido de arcilla del suelo (Castro *et al.*, 2008). Un incremento de un 5% en el contenido de arcilla de un suelo produce una significativa reducción en la tasa de mineralización del carbono orgánico y del nitrógeno.

Algunos autores apuntan que, los residuos vegetales dejados en superficie se descomponen más lentamente que cuando se incorporan, sin embargo, un drenaje inadecuado limita la mineralización de los residuos orgánicos enterrados entre los 7 y 30 primeros centímetros del suelo, reduciendo el contenido de carbono orgánico, sobre todo, si se presentan capas más compactadas por debajo (Castro *et al.*, 2008). En general, el contenido de carbono en el suelo es mayor en los primeros centímetros de suelo cuando éste se maneja con cubierta vegetal sin laboreo, mientras que el mayor contenido en los 30 primeros centímetros se presenta en los suelos que incorporan la cubierta en profundidad. El reciclado de los residuos de las cubiertas tendrá un efecto distinto en el incremento de nutrientes en el suelo según si se dejan sobre el suelo, se incorporan parcialmente, completamente o se retiran de la parcela (Hernanz *et al.*, 2010). La posición de los residuos junto a las condiciones climatológicas, el tipo de apero utilizado, la profundidad de trabajo, la textura y contenido de humedad, cantidad, tipo y tamaño de los residuos así como su distribución en superficie, afectarán a la dinámica de la materia orgánica y de los nutrientes en el suelo. Los residuos en superficie se encuentran sometidos a una mayor desecación y ello limita la acción microbiana retrasando su oxidación, mientras que en los suelos laboreados los agregados se disgregan por el rápido humedecimiento, el impacto de las gotas de lluvia y las acciones realizadas por los aperos de labranza. Además, la exposición de la materia orgánica a la acción de los microorganismos, estimula su oxidación y la pérdida de la misma en el suelo. Paralelamente se produce una disminución en el número de agregados estables al agua, agravando el efecto cuando se deja el suelo desnudo o cuando los residuos se retiran de la parcela.

El manejo del suelo y de las cubiertas influye en las comunidades de organismos que se desarrollan en él y viceversa. Cabe destacar en cuanto a la diversidad florística, que en los

leñosos con cubierta vegetal controlada con herbicidas, se observa una progresiva reducción en el banco de semillas del suelo y la aparición musgos y líquenes que forman una corteza biológica superficial que, aunque pueda reducir la erosión promueve una mayor escorrentía, y no contribuye a la formación de biomasa ni a la regulación de plagas y del ciclo del agua, aumento de la biodiversidad, etc. Esta reducción en el banco de semillas no se observa cuando las cubiertas son controladas con siega mecánica o incorporadas al suelo (Castro *et al.*, 2008). Por otro lado, en relación a los artrópodos del suelo, se ha determinado que el laboreo continuo altera las poblaciones de formícidos ya que elimina los hormigueros en las calles de los olivos (Redolfi *et al.*, 2004). Asimismo, las cubiertas vegetales frente al suelo desnudo favorecen a la comunidad de coleópteros, y en parcelas de olivar ecológico, con cubierta eliminada mecánicamente, se registra un incremento en la abundancia, riqueza específica y dominancia de este grupo de artrópodos (Cotes *et al.*, 2009). En el caso de las arañas, aumentan su abundancia, y se presenta un mayor número de especies en las zonas donde se ha controlado la cubierta, lo que se atribuye a que éstas proporcionan nuevos nichos ecológicos, que son colonizados desde las zonas adyacentes (Cárdenas *et al.*, 2006). La presencia de rastrojo sobre el suelo puede influir en gran medida sobre la composición de artrópodos del suelo ya que condiciona un ambiente más estable (Duarte *et al.*, 2009).

Mientras que la presencia de cubiertas vegetales aumenta la actividad bioquímica del suelo, el laboreo perturba su función biológica (Zornoza *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010 y 2011b; Coll *et al.*, 2011). La actividad de los hongos micorrízicos, y la glomalina como producto de éstos y con capacidad para almacenar carbono y promover la agregación del suelo, se encuentra en mayor cantidad en los suelos no laboreados y en las parcelas en que no se utilizan herbicidas (García Orenes *et al.*, 2012). A su vez, una mayor actividad microbiana contribuye a reducir el estrés hídrico de las plantas (Dabney *et al.*, 2001; Augé, 2001 y 2004; Delgado, 2004).

Tal como señalan varios estudios, los suelos con cubierta vegetal presentan una actividad enzimática significativamente mayor que los manejados con laboreo convencional, en almendro, viña y olivar (Hernández *et al.*, 2005; Benítez *et al.*, 2006; Moreno *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010; Virto *et al.*, 2012;). La actividad deshidrogenasa aumenta en los suelos manejados con cobertura vegetal y no laboreo, en relación a los suelos desnudos y con la aplicación de herbicidas o con laboreo convencional (Benítez *et al.*, 2006; Ramos *et al.*, 2010), debido a la mayor concentración de carbono orgánico y el aumento de la biomasa microbiana (Moreno *et al.*, 2009; Virto *et al.*, 2012). La aplicación de químicos de síntesis inhibe la capacidad de los microorganismos del suelo para producir auxinas (Benítez *et al.*, 2006), reduce la actividad deshidrogenasa y β -glucosidasa (Moreno *et al.*, 2009), y conlleva una menor diversidad de poblaciones de microorganismos en el suelo. En cambio el manejo ecológico del suelo, frente al convencional e integrado presenta una mayor diversidad microbiana (Hernández *et al.*, 2005; Benítez *et al.*, 2006;) y un aumento significativo de la actividad β -glucosidasa, ligada a los suelos con cubierta vegetal frente a los laboreados y cuando se utiliza fertilización orgánica frente a la mineral (Benítez *et al.*, 2006), asimismo, el nitrógeno inorgánico puede inhibir parcialmente la actividad de este enzima (Ramos *et al.*, 2010; Virto *et al.*, 2012). El incremento de la actividad β -glucosidasa se encuentra correlacionada con la fracción orgánica de carbono, la agregación, la disponibilidad de agua y con la densidad de lombrices del suelo (Virto *et al.*, 2012). La actividad fosfatasa depende de la presencia de fósforo en el suelo, por lo que su actividad desciende cuando se utiliza abonado

mineral, se presentan deyecciones de ganado en el suelo, se laborea o se mantiene el suelo desnudo con herbicidas. Por el contrario su actividad aumenta en parcelas ecológicas, con la fertilización orgánica, con la presencia de especies leguminosas y, en general es mayor en suelos manejados con cubierta vegetal. Benítez *et al.*, (2006) señalan que, los suelos que no se laborean registran un mayor nivel de sustratos con fósforo orgánico con respecto a los suelos que se labran o se tratan con herbicidas en parcelas de olivar. La actividad sulfatasa, difenoloxidas y ureasa es mayor en los suelos manejados con cubierta vegetal frente a los laboreados y al no laboreo con suelo desnudo (Hernández *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2010). Benítez *et al.*, 2006 registran una menor actividad difenoloxidas en suelos no laboreados, seguidos de los manejados con herbicidas, y en parcelas de olivar convencional (Benítez *et al.*, 2006), lo que se puede atribuir a un menor contenido en sustancias orgánicas recalcitrantes y/o una mayor cantidad de precursores húmicos (quinonas), inhibidoras de este enzima. En cuanto a la diversidad funcional microbiana, se registran mayores valores en los suelos con cubierta vegetal y no laboreo, seguidos del manejo con laboreo, y en último lugar, para los suelos no laboreados con suelo desnudo en olivar. Así, el principal factor que determina la estructura y diversidad funcional, y la biomasa microbiana es la presencia de cubierta vegetal. También se observa una mayor actividad y biodiversidad microbiana en los suelos ecológicos respecto a los sistemas convencionales e integrados, así como en los suelos no laboreados en olivar (Benítez *et al.*, 2006). Cuando se compara el manejo ecológico con otros sistemas de cultivo, los suelos pueden mostrar una diversidad bacteriana similar, aunque se diferencian en su composición genética. La estructura y diversidad de las comunidades bacterianas están fuertemente influenciadas por el tipo de especies que forman la cubierta, los efectos de la zona radicular y el tipo de suelo (Moreno *et al.*, 2009). Hernández *et al.*, (2005) también apuntan, en olivares, una mayor biomasa microbiana en suelos con cubiertas herbáceas, sobre todo para las sembradas de trébol y segadas frente al laboreo convencional y al no laboreo con suelo desnudo, lo que atribuyen al efecto promotor de la actividad en la rizosfera por parte del trébol. Aranda (2010) determina en parcelas de olivar repartidas por toda Andalucía, que tanto el tipo de suelo como el manejo de éste contribuyeron en este orden a modificar la estructura y diversidad de las comunidades bacterianas de acuerdo a los valores de los índices de Riqueza y Shannon Weiner. Los suelos de olivar de Sierra Morena con laboreo ligero o pastoreo con ovejas durante todo el año, presentaron mayores valores de estos índices de diversidad comparados con los suelos de campiña. En cuanto a la presencia de lombrices, según Virto *et al.*, (2012), para suelos de vid, la densidad de lombrices de tierra es significativamente mayor en los suelos con cobertura vegetal respecto a los labrados con aplicación de herbicidas; esta mayor densidad se encuentra relacionada con la disponibilidad del agua, estabilidad de los agregados, diversidad biológica y actividad enzimática. Estos autores también señalan la existencia de una relación más fuerte entre la diversidad microbiana y la mejora en la estructura del suelo y una mayor cantidad de agua disponible en suelos de zonas semiáridas que bajo otras condiciones climáticas.

DINÁMICA DEL AGUA EN LOS CULTIVOS LEÑOSOS

Gran parte de la variabilidad en el contenido de agua del suelo en las regiones semiáridas del Mediterráneo puede ser explicada por las precipitaciones de otoño e invierno (Singh *et al.*, 1998). Concretamente en zonas oliveras de Andalucía se ha reportado que, entre el 65 y el

70% de la precipitación total anual ocurre en este período (Pastor, 1989; Castro *et al.*, 1992; Cuadros *et al.*, 1993; Pastor *et al.*, 2000; Guzmán & Foraster, 2007). Este patrón es el que permite a partir del otoño y hasta final del invierno, recargar el perfil del suelo hasta capacidad de campo (Joffre & Rambal, 1993), por lo que durante este período se debe maximizar la infiltración de agua y permitir su conservación en el suelo de cara a la primavera. En esta línea, se ha demostrado que la instalación de cubiertas vegetales y la presencia de residuos en superficie resultan en una mejor infiltración que redundan en un contenido de humedad mayor en el suelo a la salida del invierno (Pastor, 1989; Pastor & Castro 1991; Pajarón *et al.*, 1996; Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005). Las lluvias de otoño-invierno, deben servir para compensar la reducida disponibilidad de agua a finales de la primavera (Hernández *et al.*, 2005). Durante esta época la competencia por el agua es prácticamente nula (Hernández *et al.*, 2000) ya que el cultivo principal entra en parada invernal, y la cubierta vegetal en sus primeras fases de desarrollo tiene un consumo de agua mínimo (Singh *et al.*, 1998). Sin embargo, esta tendencia se invierte en primavera, cuando el cultivo comienza a consumir activamente agua y nutrientes y las cubiertas alcanzan su máximo desarrollo, por lo que deberán eliminarse para no incurrir en relaciones de competencia. El momento en que se inicia esta situación puede variar en función de la precipitación, de las temperaturas, tipo de cubierta, tipo de suelo, cultivo, relieve, etc. La dinámica del contenido de humedad en el suelo a partir del inicio de la primavera, es decrecer hasta junio-julio y permanecer casi constante durante el verano (Joffre & Rambal, 1993; Hernández *et al.*, 2005). En el Mediterráneo la lluvia anual es un pobre estimador de la sequía estival, ésta es una característica intrínseca de este tipo de clima.

Los momentos críticos de falta de agua para el olivar se corresponden con tres fases de su desarrollo, antes de la floración, al inicio del endurecimiento del hueso y antes de la cosecha (Mariana *et al.*, 2003; Muñoz-Cobo *et al.*, 2005; Ramos & Santos. *et al.*, 2009). En el caso de la vid, resulta crítica la disponibilidad de agua a partir de la floración y hasta el envero (Hernández *et al.*, 2000; Girona *et al.*, 2009). En el caso del almendro, los momentos más sensibles al estrés hídrico son, desde la yema hinchada hasta el fin del cuajado del fruto, y tras la cosecha (Marsal, 1997; Goldhamer *et al.*, 2006; Nortes, 2008; Ruiz Sánchez *et al.*, 2010). Por tanto, es de máxima importancia recargar el suelo de agua durante el otoño-invierno, para afrontar, en primavera, el período de máxima sensibilidad ante el estrés hídrico, que se extiende hasta el inicio de la sequía estival. Las plantas leñosas en ambientes semiáridos, como el olivo, la viña y el almendro, son capaces de evitar o tolerar la sequía a través de mecanismos fenológicos, fisiológicos y morfológicos (Marsal, 1997; Cuevas, 2001; Bastías *et al.*, 2002; Nortes, 2008; Vila *et al.*, 2009; Ramos & Santos., 2009). En cuanto a los mecanismos de tipo fenológico para evitar la sequía y aumentar la eficiencia en el uso del agua y de la energía, destaca la sincronización a las constricciones climáticas del Mediterráneo semiárido, ya que las fases de desarrollo más insensibles al estrés hídrico coinciden con la sequía estival, cuando además adaptan su fisiología para tolerar las condiciones de sequedad del suelo. Algunas modificaciones morfológicas que permiten tolerar la falta de agua para luchar contra la desecación, y controlar la evapotranspiración, consisten en presentar hojas pequeñas o curvar los bordes de la hoja. En el caso del olivo, la hoja presenta una gruesa cutícula y pelos blanquecinos en el envés para protegerse de las radiaciones y de un calentamiento excesivo, a la vez que concentra un gran número de estomas para compensar la dificultad de entrada de anhídrido carbónico debido al cierre estomático. Además, el olivar, la vid y el almendro,

durante la época de sequía, extienden sus raíces en profundidad y a lo largo del subsuelo más allá de la zona de humectación de los goteros, extrayendo el agua almacenada en las calles (Fernández *et al.*, 1991, 1997; Rana *et al.*, 2004; Nortes, 2008), sobre todo en cultivo de secano (García Ruiz *et al.*, 2011). Igualmente, los sistemas radiculares de los árboles muy distanciados se pueden extender más allá de la influencia de la copa; de este modo, una extensión de 0,5 m fuera del vuelo podría incrementar el volumen de suelo explotado y aumentar la disponibilidad de agua en torno a un 30% (Joffre & Rambal, 1993). En cuanto a las adaptaciones fisiológicas, los principales mecanismos desarrollados por los leñosos adultos bajo condiciones de estrés hídrico son, una disminución del potencial hídrico foliar, una temprana regulación estomática, un ajuste osmótico y una disminución del índice de área foliar (Marsal, 1997; Cuevas, 2001; Bastías *et al.*, 2002; Nortes, 2008; Vila *et al.*, 2009; Ramos & Santos. *et al.*, 2009).

A menudo se asume que la disponibilidad de agua en el suelo está limitada por el punto de marchitez permanente, correspondiente a los -1,5 MPa, y que muchas plantas mueren al alcanzar los -3 MPa (Augé, 2004). Sin embargo, las plantas de las regiones secas son capaces de extraer agua mucho más allá de este límite (Noy-Meir, 1973), coincidiendo con la puesta en marcha de los mecanismos de adaptación a la sequía, evitando las consecuencias irreversibles que para otras plantas tiene la exposición al estrés hídrico estival (Moreno *et al.*, 1996; Bastías *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2005; Nortes, 2008). De este modo, el agua disponible varía en un amplio rango de valores de potencial hídrico, dependiendo del potencial hídrico de la planta y la densidad de raíces (Singh *et al.*, 1998). Estas evidencias deben hacer replantear los actuales programas de riego, en el sentido que, manteniendo altas dosis de riego en los meses de verano, por encima de las necesidades de transpiración del cultivo, se acentúa la evaporación de agua desde el suelo, ya que el cultivo no hace un uso eficiente de la misma (Ramos & Santos *et al.*, 2009). Por todo ello es de máximo interés utilizar estrategias de riego deficitario (Muñoz-Cobo *et al.*, 2005; Nortes, 2008; Ruiz Sánchez *et al.*, 2010).

El consumo del agua del suelo por parte de la cubierta vegetal es más acusado en las zonas húmedas que en las zonas áridas. En esta línea, Ruiz-Sinoga *et al.*, (2011) señalan que la prevalencia de los factores bióticos sobre los abióticos en la disponibilidad de agua en el suelo, se invierte para un umbral de precipitación anual de 450 mm. Es decir, las especies de plantas que crecen en lugares más húmedos, presentan una rápida absorción de agua disponible y un mayor estrés hídrico. Sin embargo, en los sitios más secos la vegetación está más adaptada a la falta de agua y es más independiente de las lluvias, resultando en la disponibilidad de agua para las plantas durante un largo periodo de tiempo. Igualmente, se ha determinado una mayor reducción del agua almacenada en el suelo en los años húmedos frente a los años secos en pastos semiáridos (Singh *et al.*, 1998), lo que se atribuye al efecto de una alta área foliar del dosel y una mayor actividad. Las constricciones climáticas propias del secano Mediterráneo determinan en gran medida el tipo de herbáceas que se desarrollarán en la cubierta. De este modo, la presencia de hierbas perennes es menos habitual que la de plantas anuales, ya que las primeras necesitan cierta humedad para mantenerse (Pastor *et al.*, 2002).

La dinámica del agua en el suelo está relacionada con la actividad de la vegetación, pudiendo diferenciar los lugares abiertos (calles) de los lugares sombreados (ruedo). De este modo, las abundantes lluvias en primavera, junto al máximo desarrollo de la cubierta, dan pie a un aumento de la evapotranspiración de marzo a mayo (2,9 mm/día en años húmedos y 2

mm/día en años secos), sin embargo en el mes de junio estos valores descienden marcadamente, sobre todo en las calles comparado con el ruedo (Joffre & Rambal, 1993). Cuando sucede una sequía temprana, en el mes de junio, se produce una severa reducción de los valores de evapotranspiración. Igualmente, cuando las lluvias otoñales se retrasan hasta el mes de noviembre, se da una baja evapotranspiración para las especies anuales hasta el mes de diciembre. Después de la germinación otoñal, el rápido crecimiento de las hierbas anuales, cubriendo toda la superficie, hace que la evaporación desde el suelo sea insignificante. Aunque las lluvias tempranas en otoño incrementan la actividad de la vegetación, de noviembre hasta enero, las áreas abiertas se mantienen con valores de evapotranspiración menores que aquellas bajo la copa del árbol; aunque en general, durante todo el otoño se mantienen muy bajos (0,6-1 mm), debido al incompleto desarrollo del sistema radicular, que coloniza solo las capas superficiales del suelo, alcanzando su máximo desarrollo en enero-febrero. Por el contrario, el desarrollo del sistema radicular de las hierbas perennes continúa su desarrollo en profundidad y longitud hasta el mes de mayo. En las dehesas sevillanas, Joffre & Rambal (1993) determinan que el consumo de agua de las especies herbáceas estuvo débilmente correlacionado con los niveles de precipitación otoñal, y durante la primavera estuvo limitado por la disponibilidad de agua en la zona de exploración de las raíces de las anuales. Esta baja utilización de los recursos hídricos por las anuales frente a las perennes, durante el desarrollo vegetativo, se puede atribuir a diferencias en la duración de la estación de crecimiento y la profundidad de las raíces, y no tanto a las diferencias en el porcentaje de uso del agua (Tadmor *et al.*, 1967). La estación de crecimiento de las hierbas termina a mitad de junio, así que la evapotranspiración durante julio y agosto es debida al consumo del árbol y es igual a las pérdidas por transpiración. En las situaciones donde la estructura de la vegetación es discontinua, la conductancia aerodinámica es muy alta y la transpiración está marcadamente influenciada por la corriente de aire sobre el dosel.

La evapotranspiración y la pluviometría anual presentan una correlación significativa para la hierba en las calles, pero no para el ruedo; sin embargo, la dependencia con este último componente aumenta conforme los árboles están más distanciados. Debajo de la copa, cuando la precipitación anual es inferior a 570 mm, la evaporación del agua es despreciable y toda la precipitación se pierde por evapotranspiración. Por el contrario, fuera del vuelo, la evaporación de agua ocurre tan pronto como la precipitación anual supera los 250 mm. Para los suelos en lugares abiertos con cubierta de anuales, las pérdidas por drenaje y escorrentía son significativamente superiores a las producidas debajo del árbol. De este modo, los árboles limitan considerablemente el estrés hídrico de la vegetación y permiten un uso más eficiente de los limitados recursos hídricos. Debajo de los árboles sucede un almacenamiento de agua mayor que en las calles (Joffre & Rambal, 1993; Gómez, 2005), y resulta una estrategia que beneficia al conjunto del ecosistema.

La biomasa de raíces y su distribución en el perfil del suelo influyen directamente en la dinámica del agua en el agroecosistema. En los primeros 15 centímetros de suelo, se localiza en torno al 56% de la biomasa radicular en los pastos cortos y otro 19% se sitúa entre los 15-30 centímetros. Las raíces que crecen en las capas más profundas son reemplazadas en primer lugar, durante el inicio de la época de crecimiento, y tienen una función crucial explotando el agua del suelo (Singh & Coleman, 1974). No obstante, la cantidad de raíces, no solo disminuye con la profundidad, sino también con los patrones de disponibilidad de nutrientes. Las

especies dominantes de los herbazales cortos son capaces de responder rápidamente a eventos de tan solo 5 mm de lluvia, y están adaptadas a frecuentes eventos pequeños e intermedios (Singh *et al.*, 1998). Los eventos de lluvia intermedios están más relacionados con la variabilidad en la producción primaria, mientras que los eventos lluviosos importantes determinan si un año es seco o húmedo, así como la humedad de las capas más profundas. Aunque el crecimiento radicular quizá sea más importante en superficie, las plantas en regiones semiáridas dependen de las capas más profundas para sobrevivir frecuentes periodos de sequía, de ahí la importancia de contar con un suelo bien estructurado, que no interfiera en el movimiento de agua entre las capas superficiales y las profundas. La menor variabilidad del agua contenida en las capas más profundas es una ventaja ecológica que potencialmente amortigua el impacto de la gran variabilidad en la precipitación año tras año, y de este modo, contribuye a la estabilidad de la cubierta, la cual accede al agua desde estas capas en adición a la mayor variabilidad en el almacenamiento de las capas más superficiales. Según Sala *et al.*, (1992) las distintas formas vitales pueden explotar el agua de diferentes capas de suelo, de este modo, las plantas suculentas tienen un sistema radicular más superficial, explorando esas capas, y las rosetas y los arbustos las capas más profundas. Las hierbas tipo grama, dominantes en los pastos, se concentran en los primeros 10 centímetros de suelo, respondiendo rápidamente a pequeñas cantidades de lluvia, pero también se extienden hasta las capas profundas en el perfil, por lo que se observa una correlación positiva entre la abundancia de este tipo de hierbas y la reducción de agua en el suelo durante la época de crecimiento.

La disponibilidad de agua en el suelo está en función de la lluvia, la transpiración de las plantas y las propiedades del suelo. Existe una alta correlación entre el contenido de materia orgánica y la capacidad de almacenar agua para suelos arenosos y arcillosos, y no tanto para los suelos limosos (Hudson, 1994). La materia orgánica es un factor determinante de la disponibilidad de agua ya que un 6% de materia orgánica sobre peso es equivalente a un 5-25% sobre volumen. El mayor contenido de agua en el suelo se da para las texturas arcillosas frente a las más ligeras, y en una posición intermedia de almacenamiento se encontrarían los suelos francos (Singh *et al.*, 1998; Ruiz Sinoga *et al.*, 2011), además, en los suelos pesados el agua es liberada para el uso de las plantas más lentamente, lo que permite vivir a las hierbas perennes.

CONTROL DE HIERBAS, PLAGAS Y ENFERMEDADES

Las cubiertas influyen sobre el cultivo a través de las interacciones con la fauna y la flora del agroecosistema, interviniendo en la regulación de plagas y enfermedades, potenciando la fauna útil, protegiendo al cultivo frente a los patógenos y a través de relaciones alelopáticas.

ALELOPATÍA

Las plantas herbáceas del Mediterráneo sintetizan y acumulan en sus órganos una gran variedad de metabolitos secundarios de carbono, que confieren a las plantas una mayor resistencia frente a los fitófagos (Terradas, 2001) y promueve la formación de moléculas aleloquímicas. Esto sucede en respuesta a su coevolución con los factores bióticos y abióticos a los que están expuestas, que a menudo limitan más el crecimiento que la fotosíntesis. La liberación de aleloquímicos al entorno por parte de una planta puede influir sobre los insectos y la fauna edáfica, o bien sobre otras plantas, denominándose alelopatía (Blanco, 2006). La

liberación de estas sustancias sucede mediante volatilización desde la planta viva, por lixiviado de compuestos solubles en el agua de lluvia, rocío o niebla, por exudación radicular o por descomposición de residuos. Las sustancias alelopáticas se pueden clasificar en compuestos fenólicos, terpenos y alcaloides (Regnault Roger *et al.*, 2004), y puede sumarse a los fenómenos de competencia por los recursos, causando una interferencia (Blanco, 2006).

Uno de los usos que tiene la alelopatía en los leñosos es la utilización de plantas acompañantes, selectivamente alelopáticas, que aporten efecto herbicida sobre ciertas arvenses no deseadas. Las adventicias con semillas pequeñas parecen ser especialmente susceptibles a los aleloquímicos, frente a las que presentan semillas más grandes (Putnam & DeFrank, 1983). El uso de residuos “tóxicos” ha demostrado su utilidad, tanto en acolchados como incorporados al suelo, ocurriendo una mayor inhibición cuando la descomposición del residuo se realiza en fases tempranas (Blanco, 2006). Ciertas plantas cultivadas como el centeno, la avena, la cebada, el trigo o el maíz exudan compuestos alelopáticos a través de sus raíces, mientras que la acelga, el chícharo, la arvejilla, el girasol, el guisante, la facelia o el trigo sarraceno a través de sus residuos. Algunas adventicias que también presentan poder desherbante son *Sorghum halepense*, *Setaria faberii*, *Bromus sp.*, *Digitaria sanguinalis*, *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, *Oxalis*, *Brassica campestris*, *Agropyron repens*, *Brassica nigra*, *Portulaca*, *Setaria* o *Polygonum* (Blanco, 2006). Es reseñable el hecho que, estas arvenses son las que se presentan a menudo como especies dominantes. Por otro lado, aunque la alfalfa tiene un gran poder desherbante (Tabla 8 del Anexo A), su uso en parcelas de olivar no es aconsejable por ser un buen hospedero de *Verticillium sp.* (Trapero *et al.*, 2011), y en general, en el secano semiárido por su carácter perenne y altas necesidades hídricas.

Por otro lado, también se puede utilizar como abono verde una especie, que puede inhibir a una arvense no deseada de la misma familia botánica (Tabla 8 del Anexo A) (Domínguez *et al.*, 2002). Por otro lado, el poder desherbante de ciertos abonos verdes se basa en su rápido crecimiento y gran producción de biomasa, causando interferencia por los recursos (p.ej. mostaza, veza, sorgo). De este modo, las cubiertas de mostaza (*Sinapis alba*) compiten eficazmente por la luz y el nitrógeno con el resto de adventicias, e inhiben su crecimiento sobre todo cuando los residuos de la cubierta se dejan en superficie frente a su incorporación en el suelo (McLenaghan *et al.*, 1996; Alcántara, 2005). Foraster *et al.*, (2006b) apuntan que, las cubiertas de veza implantadas en el olivar reducen la diversidad florística por su temprano desarrollo y el cierre del vuelo, impidiendo que las zonas bajo el dosel reciban la luz directa, lo que a su vez altera el régimen térmico del suelo (Teasdale & Daughtry 1993).

Numerosas gramíneas presentan efecto alelopático por su contenido en ácidos hidroxiácidos, que tras ser liberados al suelo, principalmente por exudación radicular, sufren una degradación química y microbiana que los transforma en benzoxazolinonas (DIBOA en BOA y DIMBOA en MBOA) (Regnault Roger *et al.*, 2004). Las benzoxazolinonas presentan cierta selectividad en su actividad herbicida, de este modo, DIBOA es una molécula especialmente activa para las monocotiledóneas, mientras que BOA lo es para las dicotiledóneas (Bares y Putnam, 1987). Estos compuestos se sintetizan a partir de la germinación y su contenido es máximo en el estado de plántula, disminuyendo a continuación, a la vez que aumenta en respuesta a un estrés abiótico. Se ha documentado como, los residuos de centeno reducen más de un 75% la biomasa de malas hierbas (Barnes y Putnam, 1983; Barnes *et al.*, 1987; Pérez

& Ormenoñuñez, 1991). Los ácidos hidroxámicos también afectan a numerosas larvas de insectos patógenos de los cereales, reduciendo su apetencia (Yan *et al.*, 1999), y se ha correlacionado con la resistencia a los pulgones (Barria *et al.*, 1992), y frente a bacterias y hongos patógenos (Bravo *et al.*, 1997). Por otro lado, los efectos alelopáticos del sorgo (*Sorghum bicolor*) también son conocidos, por su contenido en sorgoleona que inhibe el crecimiento del trigo y de numerosas adventicias (Hoffman *et al.*, 1996).

Los compuestos azufrados, los encontramos restringidos a las liliáceas y crucíferas principalmente. Las crucíferas contienen compuestos azufrados no proteicos, y glucosinolatos, además de otros compuestos con potencial fitosanitario como los cardenolinos y cucurbitacinas. El disulfuro de dimetilo se ha encontrado en las leguminosas y en algunas crucíferas (Regnault Roger *et al.*, 2004). Por otro lado, las Asteráceas contienen un compuesto azufrado, el α -tertienilo, que es muy tóxico para las larvas de lepidópteros fitófagos y para los nemátodos. A partir de los glucosinolatos, gracias a un mecanismo enzimático, se producen compuestos azufrados volátiles como los tiocianatos e isotocianatos, siendo estos últimos los más abundantes. Derivados de los glucosinatos y los isotocianatos se forma otro compuesto azufrado, las fitoalexinas azufradas, inducido en la planta como respuesta a diversas formas de estrés. La actividad fitosanitaria de los compuestos azufrados de las crucíferas, puede ser insecticida, acaricida, nematicida, herbicida, fungicida y bactericida, incluyéndose tanto los efectos tóxicos, repelentes, sobre el comportamiento o la fisiología de los fitófagos, como sus efectos atrayentes para fitófagos, depredadores o parasitoides (Tabla 3 del Anexo A). Es frecuente recomendar el empleo de abonos verdes de crucíferas para luchar por biofumigación contra los nematodos y otros patógenos del suelo (Potter *et al.*, 1998; Sarwar *et al.*, 1998; Zasada & Ferris, 2004). Concretamente, el isotocianato de alilo, es responsable de la actividad fungicida (Olivier *et al.*, 1999), por lo que se están desarrollando estudios en base a las mostazas para reducir las poblaciones de *Verticillium dahliae*. Las plantas productoras de glucosinolatos han demostrado una neta actividad herbicida, por ejemplo *Brassica nigra*, que inhibe la germinación de semillas en las proximidades o incorporando al suelo cubiertas de *Brassica napus* con una reducción de hasta un 90% en la densidad y biomasa de arvenses.

FAUNA ÚTIL

Los cultivos perennes suponen un hábitat más permanente y diversificado, y junto a las cubiertas vegetales, mejora las oportunidades ambientales de la fauna benéfica, aumentando el control biológico (Altieri & Nicholls, 2007; Duarte *et al.*, 2009), gracias al manejo de la cubierta como abono verde, acolchado, en franjas o en rotación. Varios estudios indican que los leñosos con cubierta vegetal muestran una incidencia de plagas significativamente menor que aquellos con suelo desnudo, principalmente debido a la mayor abundancia y eficiencia de depredadores y parasitoides (Altieri & Nicholls, 2007). Asimismo, una cobertura densa y con alta diversidad de hierbas tiene, generalmente, más artrópodos depredadores y arañas que los cultivos libres de ellas (Duarte *et al.*, 2009). Un mayor conocimiento de las relaciones entre las cubiertas vegetales, su diversidad, y los enemigos naturales, debe servir para poner énfasis en el manejo de malezas, no en su eliminación (Altieri & Nicholls, 2007). Igualmente, la composición de especies es más importante que el número de especies por sí mismo, y hay ciertos ensamblajes de plantas que ejercen papeles funcionales clave a través de sus sinergias en relación al control de plagas y enfermedades (Duarte *et al.*, 2009) (Tabla 6 del Anexo A).

La mayoría de parasitoides himenópteros requieren alimento en forma de polen y néctar para asegurar su reproducción y longevidad, por ejemplo, el néctar de las mostazas silvestres contribuye al establecimiento de las hembras adultas. Las crisopas prefieren flores compuestas que suministran néctar y satisfacen sus requerimientos en azúcar (Duarte *et al.*, 2009; Campos, 2011). El polen contribuye a la producción de huevos de muchas moscas de sírfidos y es fuente de alimento para muchos depredadores coccinélidos. Por otro lado, algunos insectos entomófagos son atraídos a determinadas malas hierbas, aun en ausencia de hospedero o presa, por las sustancias químicas liberadas por las plantas hospedadoras del fitófago u otras plantas asociadas, como el caso de ciertos compuestos azufrados presentes en las liliáceas y las crucíferas, o los extractos de *Amaranthus sp.*, que conllevan más altos niveles de parasitación, atrayendo y reteniendo a los adultos. La posibilidad de que las parcelas botánicamente complejas sean químicamente más diversas que los monocultivos y, por consiguiente, más aceptables y atractivas para los himenópteros parasitoides, abre nuevas vías para el control biológico mediante el manejo de malas hierbas y la modificación del comportamiento de parasitoides (Altieri & Nicholls, 2007).

Los depredadores dominantes asociados a la flora espontánea en parcelas agrícolas incluyen *Díptera* (*Empididae*), *Coleóptera* (*Coccinellidae*, *Carabidae*, *Staphylinidae* y *Cantharidae*) y *Neuróptera* (*Chrysopidae*) (Nentwig, 1998). En frutales con cubiertas de gramíneas o crucíferas, se registran diversas especies generalistas que se desarrollan a expensas de la gran cantidad de presas presentes, tales como áfidos, cicadélidos y otros insectos fitófagos y neutrales que no son plagas del cultivo (Altieri & Nicholls, 2007). Se ha documentado como las cubiertas vegetales constituyen una fuente de alimento al inicio de la temporada para ácaros fitoseidos, como *Amblyseius sp.*, que más tarde se traslada al cultivo y controla las arañas rojas y amarillas. También la diversidad de arañas se ve favorecida por las prácticas que contribuyen a aumentar la heterogeneidad de las parcelas (riqueza específica de la cubierta, lindes y acolchado orgánico). Por otro lado, las poblaciones de parásitos y depredadores tienden a ser mayores en siembras de alta densidad, esto puede atribuirse a que el microclima asociado a la cobertura cerrada que se produce tras siembras densas y tempranas, puede incrementar la velocidad de desarrollo de algunos depredadores y posiblemente facilitar la captura de presas.

Es importante diseñar estructuras de apoyo a las cubiertas de óptimo primaveral, como los setos, o bien adoptar un manejo de las cubiertas que permita mantener cierta diversidad vegetal durante el verano. Zonas diferentes del cultivo pueden ser manejadas de forma distinta. Este manejo de la cubierta puede implicar: siembra de cubiertas vegetales de distinta composición florística en distintas franjas; siega de franjas en diferentes momentos; cultivo en franjas en diferentes momentos; combinaciones de estos tres procesos. La mezcla de franjas conduce a una estructura vegetal de altura y fenología distintas, lo que puede proporcionar diferentes recursos a plagas y artrópodos beneficiosos. Se han observado en la siembra en franjas en frutales, durante la floración de las arvenses, más abundancia de depredadores heterópteros, coccinélidos, crisópidos, así como arañas. Se ha demostrado que, el mantenimiento de especies leguminosas durante el verano puede ser una fuente de pulgones que sirvan como reservorio de sírfidos, coccinélidos y varios depredadores afidófagos. En estudios realizados en viñedos con cubierta estival de trigo sarraceno, se registran densidades más bajas de ciertos fitófagos, así como mayores poblaciones y más especies de depredadores, incluyendo arañas. Además, la siega de la cubierta vegetal forzó a himenópteros y

depredadores a moverse a las plantas de vid adyacentes. En otro estudio se registró un considerable aumento de fitófagos neutrales y de especies entomófagas benéficas conforme aumentaba el número de especies vegetales de la cubierta, asimismo, la presencia de dicotiledóneas perennes aumentó los niveles de artrópodos beneficiosos. En los viñedos con mayor riqueza florística, las poblaciones de la mayoría de los fitófagos tendieron a fluctuar mucho menos y con niveles de densidad significativamente más bajos que las poblaciones fitófagas en parcelas botánicamente pobres. Señalan que los viñedos ricos en flores presentaron mayores niveles de parasitación de huevos de la polilla de la uva por *Trichogramma sp.* y más altas poblaciones de ácaros depredadores (Altieri & Nicholls, 2007).

La importancia biológica de las arvenses no reside únicamente en su relación con los invertebrados, sino que proveen de alimento a las aves y otros animales. En abril y mayo es cuando existe el mayor porcentaje de plantas con semillas, aunque es de gran interés la producción temprana de plantas como *Diplotaxis sp.* El control de la cubierta con herbicidas a partir de marzo, es el manejo que afecta más negativamente a la comunidad de aves, al inhibir casi totalmente el estrato herbáceo. Casi todas las especies que nidifican en los árboles seleccionan las parcelas según las características del arbolado y las del estrato herbáceo, cuya calidad, composición, estructura, presencia de semillas e insectos, y su dinámica, son básicas para las aves. Las aves granívoras se alimentan en primavera de una serie de especies de semillas, como *Diplotaxis virgata* y *Erodium sp.*, que tienen una importancia decisiva a la hora de alimentar a los pollos, por el alto contenido en proteínas de las semillas aún sin madurar, sobre todo en marzo y abril. Las aves parecen seleccionar, al inicio de la estación reproductora (febrero y marzo), las parcelas con el suelo inalterado, con abundante cobertura y una fracción de la cosecha de semillas inmaduras ya disponible para los granívoros. Se ha determinado que, con un 10% de cobertura (con alta diversidad), se duplica la densidad de aves respecto a un olivar con suelo desnudo, y con el 25% casi se triplica (Duarte *et al.*, 2009).

TIPOS DE CUBIERTAS VEGETALES

De forma general, es deseable que las cubiertas estén formadas por especies adaptadas a las condiciones edafoclimáticas locales, sean de ciclo corto, cubran el suelo de forma temprana, produzcan abundante biomasa con una adecuada relación C/N, fijen nitrógeno atmosférico, formen micorrizas o promuevan la formación de humus. La diversidad y composición funcional de la cubierta es más importante que la riqueza específica por sí misma; el objetivo es identificar las combinaciones de plantas que permitan mantener y mejorar los procesos ecológicos básicos en el agroecosistema. Por ello, es necesario profundizar en la investigación sobre las prácticas de manejo que aseguren la funcionalidad de las cubiertas. Se pueden diferenciar dos tipos de cubiertas vegetales, las espontáneas y las sembradas, en ambos casos, contribuyen a recuperar el equilibrio en el agroecosistema a través del aumento de la diversidad (Domínguez *et al.*, 2002; Zuazo & Pleguezuelo, 2008).

CUBIERTAS SEMBRADAS

La ventaja de las cubiertas sembradas es conocer de antemano su comportamiento (época de siembra, tipo de crecimiento, alelopatía, etc.). Además, puesto que existen numerosas especies usadas tradicionalmente como abonos verdes y coberturas, está garantizado el éxito

si rescatamos su uso a nivel local, por su adaptación a las condiciones bióticas y abióticas específicas (Tabla 7 del Anexo A). Las cubiertas compuestas por especies leguminosas, gramíneas y crucíferas, o las mezclas principalmente de leguminosas y gramíneas, son las más estudiadas y utilizadas como cultivos de cobertura, ya que suponen grupos de plantas con un papel funcional clave.

Las leguminosas

La importancia socioeconómica, ecológica y agrícola de las leguminosas reside en su capacidad de producir proteínas vegetales, utilizar el nitrógeno atmosférico como alternativa a los fertilizantes químicos, y colonizar ecosistemas naturales participando en la recuperación de suelos marginales (López, 2007). La gran variedad de leguminosas anuales presentes en las cubiertas de los leñosos de secano en el Mediterráneo da idea de su importante papel ecológico, indicando suelos pobres en nutrientes, donde el nitrógeno disponible es escaso. La actividad de las leguminosas enriquece el suelo en nitrógeno y materia orgánica, permitiendo que otras plantas se instalen en él y las desalojen (Terradas, 2001). El 90% de las leguminosas son capaces de establecer asociaciones específicas con bacterias aerobias que pueden fijar nitrógeno en vida libre o en simbiosis con las leguminosas, denominadas rizobios. Los rizobios se localizan en las raíces, en el interior de unos órganos especializados denominados nódulos, que suministran las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la fijación de nitrógeno y el intercambio de nutrientes entre los simbioses (López, 2007). La simbiosis específica *Rhizobium*-leguminosa, les permite ser menos dependientes del nitrógeno del suelo. El proceso de fijación biológica del nitrógeno tiene un papel principal para el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles, a la vez que evita la lixiviación de nitratos y la contaminación de aguas, ya que el nitrógeno es directamente asimilado por la planta. Además, esta estrategia permite disminuir la dependencia en el uso de fertilizantes externos, con el consiguiente ahorro en los costes de producción.

Las leguminosas prefieren para su desarrollo suelos pobres, bien drenados y aireados y son demandantes de fósforo. Presentan bajos contenidos en fibra y altos contenidos en calcio comparado con las gramíneas. La presencia de nitrógeno mineral en el suelo, principalmente nitratos, afecta negativamente a la capacidad de formar nódulos fijadores, causando un rápido envejecimiento de los nódulos ya formados o inhibiendo su formación (Dabney *et al.*, 2001). Aunque la fertilización orgánica actúa estimulando la fijación de nitrógeno (Lacasta *et al.*, 2006), el incremento en nitratos que ello supone, también reduce la capacidad fijadora de las leguminosas. La fijación también se ve disminuida por la ausencia de oxígeno, por ejemplo cuando se producen encharcamientos. Se consideran especies fuertemente fijadoras a las alfalfas, tréboles o altramuces (>200 Kg de N/ha y año); las habas y las vezas presentan una capacidad fijadora media, (100-200 Kg de N/ha y año); y los garbanzos, lentejas, guisantes, almortas o yeros, serían las especies con menor capacidad fijadora, (<100 Kg de N/ha y año) (Guzmán & Alonso, 2008b). La importancia de las leguminosas se refleja en la gran variedad de especies que, desde antiguo, se han manejado en toda la Península (Tabla 7 del Anexo A), con cultivares adaptados localmente. Sin embargo, la expansión de la mecanización, los monocultivos y el aumento en el uso de fertilizantes minerales, ha propiciado que en la actualidad muchas se encuentren en desuso, quedando en ocasiones, relegadas a unas pocas semillas en bancos de germoplasma, o simplemente desaparecidas (De la Rosa, 2000). La

agricultura ecológica y el manejo de cubiertas vegetales en leñosos ofrecen la oportunidad de recuperar el uso de estas especies cultivadas, y mantener a sus parientes silvestres.

Los carretones (*Medicago spp.*) se cultivan en pasturas y como forraje, y se presentan espontáneamente en los cultivos leñosos de secano, por lo que han sido ensayados como cobertura vegetal (Pajarón *et al.*, 1996; Foraster *et al.*, 2011). Este género es originario de la región mediterránea y tiene un gran interés por su capacidad para establecer colonias nativas adaptadas a los cambios y constricciones climáticas de nuestro territorio, sin necesidad de ser enterrados y con capacidad de resiembra, lo que es deseable en parcelas con fuertes pendientes. Otra especie leguminosa muy utilizada como cubierta y abono verde es la veza (Humanes & Pastor, 1995; Pajarón *et al.*, 1996; Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005; Foraster, 2006a y b; Guzmán & Foraster, 2007;), aunque necesita ser enterrada para obtener una buena germinación se establece con éxito en otoño y florece en el momento en que la cubierta debe ser eliminada para evitar la competencia por el agua con el cultivo. Además, su escaso rebrote permite que no siga consumiendo los recursos del suelo después de su control (Pastor *et al.*, 1997; Guzmán & Foraster, 2007). También se han ensayado con éxito las cubiertas de trébol en viñedos y olivar aportando múltiples beneficios (Folorunso *et al.*, 1992; Hernández *et al.*, 2000 y 2005; Pastor *et al.*, 2000).

Las leguminosas suelen utilizarse mezcladas con cereales, ya que la incorporación de residuos netamente nitrogenados en el suelo conlleva una rápida mineralización y una menor capacidad para proteger y estructurar el suelo, además la fertilización nitrogenada resulta en plantas con un mayor crecimiento vegetativo y las hace más sensibles ante los ataques de fitófagos. Por otro lado, el exceso de leguminosas frescas produce en el ganado meteorismo y un aumento de estrógenos que conllevan problemas reproductivos (Carambula, 1977). Una buena cubierta vegetal debe mantener un equilibrio entre la cantidad de leguminosas y de gramíneas, ya que se complementa en muchos aspectos: mantienen una buena relación C/N, promoviendo una adecuada mineralización de la materia orgánica y formación de humus, permite a la leguminosa actuar como fuente de nitrógeno, mientras las gramíneas funcionan como sumidero, resultando en una mayor producción de biomasa (Abraham & Singh, 1984; Dabney *et al.*, 2001). Además, esta asociación previene enfermedades por hongos al hacer las gramíneas de tutor a las leguminosas con porte postrado permitiendo la aireación del dosel. Esta mezcla estimula la actividad y diversidad microbiana del suelo y promueve la formación de micorrizas. La incorporación de paja al suelo, además de contribuir a disminuir la erosión del suelo, mejora su estructura y favorece el desarrollo de bacterias importantes del ciclo del nitrógeno, entre ellas las fijadoras y las nitrificantes. Por lo tanto, un modo de favorecer la fijación de nitrógeno y, consecuentemente, aumentar la producción, consiste en incorporar la paja y restos de cereales al suelo (Puig, 1979).

Las gramíneas

Esta familia botánica es la cuarta más diversificada por detrás de las leguminosas, aunque se encuentra en primer lugar en importancia económica. Están abundantemente representadas en las comunidades arvenses colonizadoras de los cultivos, indicadoras junto a las leguminosas, de la sucesión primaria y de la capacidad para madurar de la cubierta vegetal. Han sido ampliamente estudiadas como cubiertas vegetales, a menudo, mediante control con

herbicidas, en olivar (Pastor, 1989; Pastor & Castro, 1991; Castro & Pastor, 1992; Castro *et al.*, 1992) o en viña (Van Huyssteen *et al.*, 1984; Ruiz Colmenero *et al.*, 2011 y 2013). Se han ensayado numerosas especies gramíneas como cubiertas vegetales, evaluando el comportamiento de varios géneros como, *Hordeum*, *Secale*, *Lolium*, *Brachypodium*, *Bromus*, *Cynodon*, *Festuca*, *Paspalum* o *Poa*, entre otras. Destacan por su gran capacidad de adaptación y rusticidad, abundante producción de biomasa y persistencia de sus residuos, protegiendo al suelo durante largos periodos de tiempo cuando se dejan en superficie; no obstante, se observa que, el aumento en el porcentaje de cobertura del suelo se retrasa hasta final de invierno en comparación a las cubiertas espontáneas (Gómez *et al.*, 2010).

Las cubiertas de gramíneas presentan otras ventajas, como las bajas necesidades de agua, el mayor contenido en compuestos de carbono y lignina, la capacidad de ahijamiento, el sistema radicular fasciculado, fomentando la agregación de las partículas del suelo, disgregando los suelos pesados y cohesionando los más arenosos. Lenta mineralización de sus residuos frente a los de las leguminosas. Los abonos verdes de gramíneas y crucíferas con una importante producción de materia seca, pueden llegar a aportar al suelo más de 1.200 kg/ha de humus, sin contar con el aporte de las raíces (Domínguez *et al.*, 2002). Sin embargo, su capacidad de rebrote tras la siega, la necesidad de un aporte extra de nitrógeno por su elevada demanda, y la ausencia de flores expuestas que ofrezcan polen y néctar en abundancia, no suponen la mejor alternativa para utilizarlas en solitario.

Aunque la presencia de gramíneas en las cubiertas tiene una importancia indiscutible, es la mezcla de gramíneas y leguminosas la que conlleva mayores beneficios, ya que ambas se complementan. Pastor *et al.*, (1997) apuntan que si las cubiertas de cereales se intercalan con cubiertas de leguminosas cada dos años sustituye ventajosamente a la fertilización mineral nitrogenada complementaria de las cubiertas de gramíneas. Es remarcable el hecho que, las cubiertas vegetales que crecen espontáneamente en los cultivos leñosos de secano se corresponden con asociaciones vegetales propias del clima mediterráneo semiárido, formadas por herbazales terofíticos subnitrófilos o nitrófilos, arvenses y ruderales que se extienden por gran parte del territorio. Estas asociaciones presentan una gran abundancia en especies de la familia de las gramíneas que pueden ejercer las mismas funciones que las sembradas. Por todo ello, la siembra de gramíneas estará justificada cuando, de forma natural su presencia sea muy escasa, al inicio de la conversión o en suelos muy degradados como acompañantes de las leguminosas, o en el caso en que se persigan otros fines específicos como el aprovechamiento ganadero. Lacasta *et al.*, (2006) en un estudio sobre distintas rotaciones en cultivos extensivos de secano concluyen que, el manejo que aporte mayor cantidad de carbono al sistema será el que genere mayor cantidad de materia orgánica al suelo y por tanto mayor cantidad de biomasa microbiana y actividad biológica.

Las crucíferas

Esta familia botánica está menos diversificada que las anteriores, y aunque varias especies tienen importancia económica, como hortícolas, oleaginosas o forrajeras, la mayoría son herbáceas. Abundan los representantes silvestres de esta familia en los cultivos leñosos andaluces, como los jaramagos que se corresponden con diversos géneros de crucíferas, *Diplotaxis*, *Eruca*, *Raphanus*, *Sisymbrium* o *Hirschfeldia*, y otras como *Moricandia* o *Capsella*. A

diferencia de las leguminosas o las gramíneas, las crucíferas como cubiertas en los cultivos leñosos andaluces han sido menos estudiadas, sin embargo está ampliamente documentado su uso en diferentes cultivos en Europa y América. Las crucíferas silvestres *Sinapis alba* y *Eruca vesicaria* se han ensayado como cubiertas vegetales en olivares en diferentes zonas de Andalucía (Alcántara *et al.*, 2008; Repullo Ruibérriz de Torres *et al.*, 2012). Otras crucíferas que pueden ser utilizadas como cubierta son la colza (*Brassica napus*), mostaza marrón (*Brassica juncea*), mostaza negra (*Brassica nigra*), la mostaza de campo (*Brassica campestris*), el nabo (*Brassica rapa*), el rábano forrajero (*Raphanus sativus*) o la col forrajera (*Brassica oleracea*).

El interés de las crucíferas como cubiertas reside en su buena adaptación a distintos suelos y a las condiciones climáticas de zonas semiáridas del Mediterráneo. Presentan una abundante producción de biomasa, escasa capacidad de rebrote tras la siega, rápido desarrollo y ciclo temprano de invierno-primavera, que asegura recursos alimenticios a la fauna benéfica en los meses de enero y febrero. Igualmente, presenta gran capacidad competitiva frente a otras arvenses y su capacidad inhibidora del crecimiento de adventicias y poblaciones de nemátodos fitopatógenos y enfermedades del suelo como *Verticillium dahliae* por su acción biofumigante. El sistema radicular robusto, profundo y pivotante, tiene la capacidad de airear y descompactar el suelo en las capas más superficiales, favoreciendo la infiltración de agua. Bombeando nutrientes como el potasio desde las capas profundas del suelo, reducen la pérdida de nutrientes en profundidad retornándolos a la superficie a través de su biomasa, sobre todo aquellos que se lixivian con facilidad cuando llueve en otoño e invierno, como el nitrógeno. Aunque las crucíferas no fijan nitrógeno ni forman micorrizas, poseen una buena capacidad de humificación y aportan gran cantidad de compuestos ricos en carbono y lignina, lo que hace que sus residuos sean más persistentes y protejan al suelo de la erosión de forma efectiva. Alcántara (2005) ensaya con éxito cubiertas de mostaza blanca (*Sinapis alba*) en olivar; segándolas a principio de primavera, éstas logran cubrir más del 80% del suelo en marzo con una producción de materia seca de 1.057 kg/ha. La cubierta de mostaza compite fuertemente con las poblaciones de *Bromus madritensis*, y sus residuos manejados como acolchado disminuyen un 50-60% las arvenses de ciclo estival como *Amaranthus blitoides* y *Chenopodium album* y retrasan su emergencia 20-27 días respecto al testigo con suelo desnudo.

Otras especies utilizadas como cubiertas

La compuesta *Phacelia tanacetifolia* se utiliza como cubierta vegetal y abono verde de primavera-verano, fomenta la presencia de la fauna benéfica asociada al cultivo, como la crisopa, y posee función biodesinfectante. La poligonácea *Fagopyrum esculentum* también tiene su uso como cubierta de floración estival, presenta un rápido crecimiento y controla eficazmente a las arvenses, tiene uso como planta melífera y para alimentación del ganado, y sus flores atraen a numerosos himenópteros entomófagos.

La mezcla de especies sembradas más utilizada son las leguminosas junto a las gramíneas, ya sean anuales o perennes. También se han ensayado mezclas de crucíferas y leguminosas (Foraster *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2011b). Frente a la siembra de una sola especie, el uso de mezclas responde a la necesidad de aumentar la diversidad de especies presentes, ya que han mostrado ser más funcionales. Muchas de estas mezclas se comercializan y algunas incluyen más de una decena de especies distintas en su composición. Sin embargo, hay que tener

presente que, la combinación de ciertas especies y su importancia dentro de la mezcla, pueden favorecer el establecimiento de unas dominando a otras, como por ejemplo en la mezcla de veza con mostaza, en la que una mayor dosis de la primera, ahoga en parte la emergencia óptima de la segunda (Foraster *et al.*, 2011).

CUBIERTAS NATURALES

Las cubiertas espontáneas aportan los mismos beneficios que las sembradas con la ventaja de necesitar una menor inversión económica y energética para su implantación. Una de las estrategias de las adventicias para adaptarse a la falta de humedad de los suelos es pasar la época desfavorable en forma de semilla, por lo que la mayoría son terófitos de invierno y primavera (Font i Quer & De Bolòs, 1979). Menos frecuentes son los hemicriptófitos y geófitos, ligados a un mayor contenido de humedad del suelo. Las adventicias producen millares de semillas que pueden permanecer en el suelo durante años y poseen un elevado porcentaje de germinación, todo ello asegura el éxito en la colonización de nuevos espacios. Otra de las ventajas que poseen frente a las sembradas es su mayor diversidad florística y su precocidad para cubrir el suelo en otoño (Gómez *et al.*, 2010).

Junto a las gramíneas y a las leguminosas, aparecen en la cubierta, de forma muy abundante, otras familias muy diversificadas y con un papel ecológico principal, este es el caso de las compuestas. Esta familia es la de mayor riqueza y diversidad biológica, está representada en una gran variedad de ecosistemas, y es muy frecuente en las regiones áridas y semiáridas en lugares abiertos. Poseen vistosos capítulos florales, usualmente con néctar, y abundante polen que atrae a insectos polinizadores como las abejas, las mariposas, las moscas o los escarabajos. La dispersión de sus frutos a través del viento, y/o por los animales, permiten a este grupo establecerse de forma consistente en los cultivos sin necesidad de recurrir a su siembra. A menudo estas especies poseen sistemas radiculares profundos y carnosos con alto contenido en grasas (Arias & Sánchez, 2004), algunas forman rosetas basales, y su alto contenido en nitrógeno facilita su papel como hospederos de pulgones. Por otro lado, las umbelíferas y las boragináceas, también poseen vistosas flores, asegurando recursos alimenticios en forma de polen y néctar. La mayoría de umbelíferas presentes en las cubiertas son de floración primaveral-estival, por lo que son menos frecuentes, debido a la perturbación a principio de primavera, que conlleva su reducción en el banco de semillas del suelo, por lo que es interesante conservarlas en los márgenes del cultivo. Otro grupo importante es el de las plantas de baja talla y floración temprana (invierno), que cubren pronto el suelo entrado el otoño, por ejemplo, algunas escrofulariáceas y cariofiláceas, entre otras. Las geraniáceas como *Erodium spp.*, por su fenología invernal-primaveral, y su germinación escalonada, aseguran su reproducción en las cubiertas que se eliminan a principios de primavera, a la vez que suponen una importante fuente de recursos por su temprana y abundante producción de semillas y contenido en néctar. En las cubiertas de fenología estival, abundan las quenopodiáceas, amarantáceas, solanáceas o ciperáceas, que presentan en muchos casos una ruta de carbono C4, lo que les permite ser fotosintéticamente más eficientes que las C3 en situaciones de altas temperaturas, alta intensidad de luz y sequía, acumulando más biomasa (Tilman *et al.*, 2001). Las cubiertas están compuestas por muchos otros grupos de plantas con fenología invernal y primaveral, así como efímeras de ciclo corto sin periodicidad determinada. Es frecuente registrar un mayor número de especies en las parcelas cercanas a la vegetación natural que en

aquellas inmersas en grandes extensiones homogéneas de monocultivo, por la inexistencia o lejanía, en éstas últimas, de inóculos que puedan migrar y establecerse en sus suelos.

El uso de cubiertas vegetales tiene como objetivo recuperar la fertilidad del suelo, para lo cual el manejo de cubiertas sembradas es muy efectivo. Sin embargo, el fin último debe ser obtener una cubierta espontánea que produzca abundante materia seca y posea todos aquellos grupos de plantas que aseguren las funciones básicas del suelo. A menudo, se utiliza la riqueza de leguminosas silvestres como indicador, ya que las cubiertas más inmaduras poseen unas pocas especies leguminosas activamente fijadoras, diversificándose este grupo en especies y número de individuos conforme evoluciona la cubierta (Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2000), hasta un punto en que el suelo se enriquece, estabilizándose su actividad, abundancia y diversificación. Al inicio de la conversión, sobre todo si el manejo previo ha estado basado en la aplicación de herbicidas y el laboreo intensivo, la cubierta presenta pocas especies distintas, un bajo porcentaje de cobertura, produce poca biomasa, fija poco nitrógeno al suelo y aporta poco carbono. Por todo ello, estimulan escasamente la actividad biológica del suelo, suponen un limitado control de la erosión y de la capacidad de infiltración de agua en el suelo y apenas promueven el control biológico. La referencia al estado de madurez no tiene que ver con la noción de estado de equilibrio, como el que se alcanza en una vegetación climática, puesto que la constante perturbación de las cubiertas vegetales las sitúa en una línea sucesional regresiva, o denominada vegetación estacionaria (Margalef, 1976), caracterizada por una pauta cíclica en la que se suceden asociaciones propias de las primeras etapas sucesionales, denominadas pioneras o colonizadoras, o en el mejor de los casos alcanzan la complejidad de un pasto. La madurez debe ser entendida como, la situación en que presentan una serie de características deseables que aseguran ciertas funciones beneficiosas encaminadas a estructurar el suelo, reciclar los nutrientes, aumentar la eficiencia en el almacenaje de agua y nutrientes, prevenir la erosión, etc. frente a coberturas que funcionalmente no son capaces de proteger, nutrir, regular, e intervenir en los procesos básicos de materiales y energía que suceden en el agroecosistema. De modo orientativo es posible diferenciar una cubierta espontánea madura de una inmadura a través de ciertos indicadores generales (Tabla IV.4), cuyo valor puede variar según la localización, limitantes edáficos, climáticos, de relieve o tipo de manejo del suelo y la cubierta.

Tabla IV.4. Indicadores orientativos para evaluar la madurez de una cubierta vegetal natural

	MADURA	INMADURA
RIQUEZA ESPECÍFICA	ALTA	BAJA
DIVERSIDAD VEGETAL	MEDIA-ALTA	BAJA
DIVERSIDAD TIPOS DE RAÍCES	ALTA	BAJA
DIVERSIDAD BIOTIPOS	MEDIA-ALTA	BAJA
ESTRATIFICACIÓN VERTICAL	ALTA	BAJA
PRESENCIA DE CLAROS	BAJA	ALTA
PLANTAS CON FLOR	DE OTOÑO A VERANO	POCAS EN PRIMAVERA Y/O OTOÑO
BIOMASA	1.000-4.000 KG/HA	<600 KG/HA
COBERTURA VIVA	50% EN OCTUBRE-NOVIEMBRE	NUNCA SUPERA EL 30-50%
COBERTURA SECA	PERSISTE ALMENOS UN 20%	DESAPARECE TRAS POCAS

Fuente: Elaboración propia a partir de Foraster *et al.*, 2011.

Se ha observado como a través del tiempo desde la implantación de cubiertas vegetales en cultivos leñosos, y tras la eliminación del uso de herbicidas, la vegetación que forma la cubierta aumenta su diversidad, se reducen las relaciones de dominancia y aumenta la equidad en respuesta a una mejor repartición de los recursos entre un mayor número de especies presentes, diluyendo el efecto virulento que ejercen las más agresivas cuando son dominantes (menor número de especies de rápido crecimiento y fuertemente competitivas) (Lampkin, 2001; Domínguez *et al.*, 2002). Una vez la cubierta alcanza una diversidad funcional óptima, la siembra de cubiertas año tras año ya no será necesaria.

La presencia de determinadas especies de arvenses puede indicar también problemas con la estructura del suelo o con el nivel de nutrientes (Tabla 2 y 4 del Anexo A). Así, las gramíneas indican suelos deficitarios en azúcares, y en caso contrario abundan las romazas, la zanahoria silvestre o los cardos. La castañuela, el amor del hortelano o la verdolaga, indican una salinidad moderada, mientras que el armuelle silvestre se encuentra en suelos muy salinos. Por el contrario los jaramagos, la amapola, la romaza o la ortiga menor se presentan en suelos poco salinos. Sin embargo, la habilidad de las plantas para actuar como indicadoras, se ve limitada por el grado en el que su presencia refleja prácticas de cultivo más que condiciones del suelo. Por ejemplo, el uso de fertilizantes químicos y calcio, por ejemplo, tiende a eliminar adventicias que están adaptadas a condiciones de baja fertilidad o extremadamente ácidas o alcalinas, y que son a menudo, las especies de plantas silvestres más raras y de más valor (Lampkin, 2001). Otro ejemplo sería el caso de la selección de especies que sucede cuando el suelo se maneja con herbicidas y no laboreo, apareciendo en mayor abundancia individuos de *Malva spp.*, *Gallium aparine*, *Conyza canadensis*, *Conyza bonariensis*, *Lolium rigidum*, *Lolium multiflorum*, o *Plantago lanceolata* resistentes a glifosato, o en suelos laboreados en cultivos anuales, abutilon, estramonio e hibisco resistentes a la trifluralina. Entre las malezas el ritmo de aparición de resistencias a los productos herbicidas comerciales es logarítmico (Blanco, 2006). Por el contrario, en suelos de leñosos que no se laborean y tras años de manejo ecológico, aparecen especies como las collejas o el diente de león.

MANEJO DE LAS CUBIERTAS VEGETALES

Un buen manejo de las cubiertas implica obtener los beneficios que aportan sin interferir con la gestión y la viabilidad del cultivo. Varios conceptos importantes se derivan de las investigaciones sobre el manejo de las cubiertas en cultivos leñosos de las últimas décadas. En primer lugar, tanto en olivar, viña como almendro, las cubiertas vegetales pueden mantenerse de otoño hasta inicio de la primavera sin que ocurra una reducción en el rendimiento del cultivo principal, ya que la entrada de agua por infiltración es mayor que la pérdida por evapotranspiración (Pastor, 1989; Hernández *et al.*, 2000; Ramos & Santos, 2009; Ruiz Sánchez *et al.*, 2010). En segundo lugar, el coste derivado de los inputs necesarios para implantar cubiertas sembradas no compensa los beneficios que éstas aportan para el cultivo en los casos en que la cubierta natural se desarrolle en cantidad y calidad suficiente, al menos en leñosos de mediana a baja producción (Hernández *et al.*, 2000; Guzmán & Foraster, 2011). En esta línea, aumenta el interés en utilizar especies espontáneas como cubiertas vegetales, además de valorarse su capacidad de resiembra para cultivos en altas pendientes (Pajarón *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 2000). Cuanto más temprano se establezca la cubierta en otoño, más rápidamente cubre el suelo y más eficaz resulta la protección del mismo así como la capacidad

de infiltración de agua y la recarga del perfil edáfico (Pastor, 1989; Castro *et al.*, 1992; Muñoz-Cobo, 1999; Gómez *et al.*, 2010). El manejo de la cubierta mediante siega permite la persistencia sobre el suelo de una mayor cantidad de residuos que protegen al suelo hasta el otoño, acumulándose este efecto a través de los años con este manejo. La reducción de la pérdida de suelo, la escorrentía y el aumento de la materia orgánica en los suelos sucede unos tres años después del establecimiento de las cubiertas (Ruiz Colmenero *et al.*, 2011), sobre todo con cubiertas no laboreadas que generan residuos más lignificados, y cuando se combinan con el mantenimiento de los residuos de poda en las calles durante varios años (Rodríguez Lizana *et al.*, 2008; Jurado *et al.*, 2010;). El momento del primer control de la cubierta se realizará entre la segunda quincena de marzo y la segunda de abril, en función de la localización y de las condiciones climáticas del año principalmente (Pastor, 1989; Castro & Pastor, 1991; Castro *et al.*, 1992; Humanes & Pastor, 1995; Pajarón *et al.*, 1996; Pastor *et al.*, 1997; Pastor *et al.*, 2000; Foraster *et al.*, 2011; Guzmán & Foraster, 2011;). Las cubiertas sembradas de leguminosa y gramíneas producen más biomasa, que si se siembran las mismas familias en solitario, además de no necesitar un aporte extra de nitrógeno a diferencia de las cubiertas de gramíneas (Pastor *et al.*, 1997; Liebman & Davis, 2000; Ramos *et al.*, 2010).

El objetivo de la siembra de cubiertas vegetales no es sustituir a la vegetación espontánea, por ello el manejo va encaminado a acompañar a la flora silvestre, ya que una vez desarrollada ésta última, a medio y largo plazo, será la más adaptada y la menos costosa. Sin embargo, la situación inicial de degradación del suelo, la baja calidad de las cubiertas espontáneas, la presencia de arvenses no deseadas, o el posible aprovechamiento ganadero o como cultivo serían excepciones, en las que interesa un desarrollo uniforme de la cubierta sembrada. Es de mayor interés lograr coberturas densas y homogéneas durante varios años consecutivos, al inicio de la conversión y para recuperar los suelos degradados. La instalación de cubiertas permanentes en los cultivos leñosos es más frecuente en viña (Hernández *et al.*, 2000; Virto *et al.*, 2012; Ruiz Colmenero *et al.*, 2013) y en zonas frescas con veranos suaves o zonas húmedas con suelos profundos, o bien en parcelas con altas pendientes (>35%) o en las que la cubierta se pastorea. En cultivos de secano en zonas semiáridas con suelos poco profundos, lo más usual es utilizar especies de ciclo anual con floración temprana o media, a una dosis mayor a la necesaria para su cultivo (20-50%), en estos casos la alta densidad responde a la siembra a voleo, a la escasa preparación del suelo para la siembra y a las altas tasas de predación de las semillas, sobre todo cuando la semilla no se entierra. Teniendo en cuenta estos limitantes, cuanto mayor diversificación de especies y cultivares bien adaptados a las condiciones locales posea la cubierta, mayor posibilidad tendrá de establecerse, producir más biomasa, y aportar equilibrio, persistencia y resiliencia al agroecosistema.

En los primeros años de conversión las cubiertas espontáneas presentan una flora muy pobre con limitado valor ecológico, y un menor porcentaje de cobertura del suelo que las cubiertas sembradas (Pajarón *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 2000; Foraster *et al.*, 2006a). Para acelerar la “maduración” de las cubiertas se pueden emplear varias estrategias (Tabla 9 del Anexo A). Algunas de ellas son, favorecer los parches de hierba de más valor ecológico, como las leguminosas silvestres y/o dejar una franja de hierba o un parche en el centro de la calle para permitir su semilleo y asegurar el mantenimiento del banco de semillas. También se puede optar por esparcir en las calles semillas de leguminosas silvestres adaptadas a la zona, o bien permitir la entrada ocasional de ganado ovino, para favorecer el transporte de semillas de un

lugar a otro de la parcela. Otra estrategia que permite acelerar este proceso es el estercolado de las calles, aunque supone un mayor coste, y las aplicaciones tempranas pueden promover una mayor capacidad competitiva por parte de la cubierta (Liebman & Davis, 2000).

La profundidad de siembra depende de la especie empleada, de este modo, las leguminosas como *Medicago truncatula*, *Medicago rugosa* o *Onobrichis viciifolia* no necesitan ser enterradas. Esto es de interés en parcelas con altas pendientes, y para aquellas en las que no se mueve el suelo. Por otro lado, las mostazas o jaramagos, el trébol blanco o el ballico agradecen un enterrado muy superficial. En el extremo opuesto, estarían especies como la veza o el guisante que necesitan para su correcto establecimiento una profundidad de siembra de entre 2 y 5 centímetros, mientras que otras como *Lathyrus sativus* requieren enterrados de más de 5 centímetros de profundidad. Si el enterrado para la siembra de cubiertas se realiza tardíamente (noviembre) afecta a la flora espontánea que viene naciendo, disminuye la diversidad florística de la cubierta, y retrasa el establecimiento por las bajas temperaturas. Por ello, se recomienda la siembra temprana (septiembre-octubre), incluso su siembra en seco en el caso de enterrar la semilla. Para el caso de semillas dejadas en superficie, las siembras demasiado tempranas, cuando aún no se han producido las primeras lluvias otoñales, no son aconsejables pues se pierde parte de la semilla por predación (hormigas, pájaros).

En relación a la humedad del suelo, las diferencias registradas entre los manejos con laboreo frecuente y aquellos con cubiertas vegetales, dependen del momento en que se eliminan las cubiertas vegetales, de este modo, los controles tardíos de las mismas, implican una mayor reducción del agua en el suelo respecto a los manejos con laboreo frecuente, sin embargo esta diferencia se reduce o se invierte en favor de los suelos cubiertos, cuando el momento del control se realiza a principios de primavera (Castro *et al.*, 1992; Humanes & Pastor, 1995). La fecha de control de la cubierta permite reducir la evapotranspiración de las arvenses, de final de marzo hasta junio, y aumentar la disponibilidad de agua en el suelo para el cultivo. Como ya se ha comentado, en Andalucía, las cubiertas deberán eliminarse por primera vez entre la segunda quincena de marzo y la segunda de abril, momento en el que las necesidades hídricas y el desarrollo vegetal se maximizan, aumentando la transpiración y la evaporación de agua desde el suelo por el aumento de la temperatura y las horas de sol (Márquez *et al.*, 2007), lo que implica un descenso del agua almacenada en el suelo. Aunque en las investigaciones llevadas a cabo en olivares de secano en la provincia de Córdoba (Pastor & Castro, 1991; Humanes & Pastor, 1995; Pastor *et al.*, 1997) apuntan como momento óptimo de control de la cubierta la segunda quincena de marzo, en zonas más frescas o en años de elevada pluviometría puede retrasarse esta fecha hasta mediados de abril, como ocurre en zonas de sierra (Pajarón *et al.*, 1996; Foraster *et al.*, 2011). Otro indicador muy utilizado para determinar el momento de control es el inicio de floración de la/s especie/s dominantes, esta estrategia tiene como objetivo eliminar las arvenses antes de iniciar el cuajado y la fructificación, periodo de mayor necesidad de agua y nutrientes. Sin embargo, aunque el momento de floración es fácil de identificar en cubiertas sembradas con una especie dominante, especialmente las de ciclo anual, no es tan aparente cuando la cubierta presenta una mayor complejidad y diversidad, o es de tipo perenne. Para el caso de los cereales este momento se corresponde con el inicio del encañado (Pastor *et al.*, 1997). En cualquier caso, no es aconsejable retardar el momento del primer control con el fin de realizar una única intervención a final de primavera, ya que, incluso en primaveras lluviosas, la reducción de agua que se produce por

evapotranspiración de la cubierta resulta en una fuerte merma de las reservas hídricas que repercuten en la producción del cultivo principal (Hernández *et al.*, 2000; Ramos *et al.*, 2010; Guzmán & Foraster, 2011). De forma tradicional, en los cultivos leñosos laboreados, lo habitual es realizar entre 4 y 6 pases de labor al año. Sin embargo, en los estudios antes mencionados se ha determinado que con 2-3 pases al año, se pueden controlar las hierbas sin que ello repercuta en una menor producción del cultivo principal, incluso en años muy secos, lo que implica un ahorro en los costes de producción, una reducción en las emisiones de CO₂ y una menor degradación mecánica del suelo.

Pastor *et al.*, (1997), señalan que cuando el manejo de las cubiertas es correcto, la producción puede no verse afectada negativamente e incluso aumentar respecto al laboreo tradicional o no-laboreo. Este equipo señala que, aunque la siega mecánica es una alternativa viable para el control de las cubiertas, el rebrote posterior puede hacer necesario un mayor número de controles, y por ello es importante utilizar especies con escaso rebrote (Humanes & Pastor, 1995). Varios estudios registran un mayor contenido de humedad en el suelo en cultivos leñosos a final de primavera cuando son manejados con laboreo convencional frente a los suelos manejados con cubiertas (Hernández *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2010; Ruiz Colmenero *et al.*, 2011), sin embargo en las primaveras secas el laboreo se ve penalizado por la evaporación directa de agua desde el suelo por capilaridad frente a los manejos en que no se mueve el suelo (Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005). Es importante destacar que, a pesar de estas diferencias no aparecen diferencias significativas en los rendimientos del cultivo, tanto en viña como en olivar entre los suelos cubiertos y laboreados en los estudios mencionados. Asimismo, en los años con una pluviometría normal-alta, las cubiertas sembradas y espontáneas anuales controladas con siega no presentan apenas competencia con el cultivo, y no se registran diferencias significativas ni para la humedad contenida en el suelo ni para el rendimiento del cultivo (Hernández *et al.*, 2000 y 2005) frente al laboreo. Para los años secos, las parcelas sembradas de trébol, en viña, tienen menos humedad, y en general, las parcelas cubiertas producen un 30% menos de uva (Hernández *et al.*, 2000). Las cubiertas de trébol manejadas con siega reportan los menores valores de humedad en el suelo en el mes de mayo (Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2000 y 2005), mientras que las cubiertas de veza segada presentan en este momento un mayor contenido de humedad, incluso en los años secos, sobre todo en las capas más profundas del suelo (Hernández *et al.*, 2005). Y mayor es este contenido respecto al trébol en el mes de junio cuando la veza se entierra en el suelo (Pastor *et al.*, 2000). Esto resulta en un buen rendimiento del cultivo en los casos en que se utilizan cubiertas de veza segada (Hernández *et al.*, 2005) y enterrada (Pastor *et al.*, 2000). Ruiz Colmenero *et al.*, (2011), en parcelas de viña comparando cubiertas permanentes de *Brachypodium* y cubiertas anuales segadas, concluyen que, aunque la transpiración de la cubierta permanente fue compensada por la capacidad de favorecer la infiltración, ésta presentó una fuerte competencia por el agua y resultó, en promedio, un rendimiento en uva un 40% menor. Por el contrario, la siega de las coberturas de centeno o cebada no redujeron significativamente la producción de uva. Ramos *et al.*, (2010) estudian el efecto de cubiertas vegetales de avena y avena con veza en almendros de secano en tres regímenes de control distintos, pastoreo, heno y paja y grano. El estudio concluye que, el rendimiento de los almendros fue mayor cuando la cubierta se controló temprano mediante pastoreo, frente a su aprovechamiento como heno y grano y paja que debe realizarse con un estado fenológico más

avanzado de las hierbas. Los autores atribuyen una mayor humedad en los suelos sembrados con leguminosa y gramínea por una mayor colonización de micorrizas, aunque también puede contribuir la presencia de un mayor número de raíces profundas en esta cubierta que ha permitido una mayor recarga de agua hasta inicio de la primavera. Varias ideas se desprenden de estos estudios, por un lado, a medida que pasan los años, las cubiertas cubren mejor el suelo y las diferencias en la producción se hacen mayores en el caso del olivar. También, tras cinco años, los suelos con cubiertas sembradas de trébol subterráneo y segadas presentan una capacidad de almacenamiento de agua significativamente mayor, a la vez que el trébol o la veza en olivar, presentan un efecto beneficioso al aumentar la fertilidad del suelo.

Cuanto mayor sea la pendiente menor perturbación debe sufrir el suelo por el mayor riego de erosión. El laboreo siempre debe ser superficial (5-10 centímetros) y realizarse con máquinas ligeras (cultivador, pinchos, chisel, rastra, etc.) y con tractores de la mínima potencia requerida. No es conveniente utilizar ningún apero que implique el volteo del suelo como vertederas o gradas, ya que la conservación del perfil del suelo es un requisito esencial para mantener su estructura. Para la siega de la cubierta, es habitual usar la desbrozadora de martillos, que además de picar la hierba también tritura los residuos de poda como sarmientos o ramón, contribuyendo a una fertilización equilibrada y más autónoma. Las desbrozadoras con desplazamiento lateral implican una labor muy cómoda, ya que puede eliminarse casi la totalidad de la hierba del ruedo. La siega es una labor fundamental para las parcelas en pendiente, en estos casos, el manejo de los residuos a modo de acolchado y el mantenimiento del sistema radicular de las hierbas es el método más eficaz para controlar la erosión frente al laboreo. Sin embargo, este apero no sería adecuado en las parcelas con mucha piedra porque dañan la maquinaria y no se puede segar la hierba a la altura deseada. El hecho de que las cubiertas segadas mantengan la protección del suelo, y que en los meses lluviosos contribuyan a una mejor infiltración de agua que los suelos desnudos, sugiere que el primer control de la cubierta, finales de marzo a principios de abril, debe realizarse mediante siega. Sin embargo, si el otoño y el invierno han sido secos, en parcelas donde la pendiente lo permita sería aconsejable controlar la cubierta mediante laboreo. En el segundo control de la cubierta, de cara al verano, el manejo que mantiene una mayor humedad del suelo es el laboreo (Guzmán & Foraster, 2011; Guzmán & Foraster, 2008), que se realizará cuando la hierba que permanece (germina o rebrota) tras el primer control, apunta por encima de los residuos dejados en superficie. Cuando el segundo control se realiza con desbrozado, hay que esperar a que la hierba que viene creciendo tenga una cierta altura para poder cortarla de forma eficaz, lo que implica que seguirá consumiendo agua hasta el momento del corte. Este segundo control puede hacerse con cultivador y rastra, que puede sustituirse por una barra o unos neumáticos detrás del cultivador para que vayan tapando los poros del suelo con el objetivo de reducir la evaporación directa del agua desde el suelo. En años muy secos, si la cubierta llega a principios de primavera con muy poca altura, también sería aconsejable controlarla mediante labor. En los casos en que no se disponga de desbrozadora, ni de ganado para la siega a diente, los dos controles de la cubierta deberán realizarse mediante laboreo. Cuando el primer control se realice con cultivador no se podrá dejar crecer mucho la hierba en altura y deberá adelantarse el control independientemente de si el año es húmedo o seco. De lo contrario, la labor se complica, y se requiere más tiempo y mano de obra para realizar un buen enterrado y una distribución uniforme de los residuos sobre el suelo. La eliminación temprana de la cubierta

con laboreo, implica aportar al suelo escasa materia seca, residuos menos persistentes y una liberación rápida del nitrógeno, a la vez que el suelo queda desprotegido ante las lluvias de primavera. Por todo ello, es relevante la innovación tecnológica en la maquinaria que logre solventar estas dificultades como sería el caso del ecoarado, que permite cortar las raíces de las arvenses dejando una mayor cantidad de residuos sobre el suelo, y trabajando de forma más cómoda con cubiertas de mayor altura respecto al cultivador o similar. En cualquier caso, no es aconsejable basar el manejo de la cubierta únicamente en el laboreo cuando las parcelas tienen una pendiente media superior al 10%. Otro caso concreto es el de cultivos de secano en laderas con pendiente orientadas a la solana, en los que la hierba crece con dificultad, en cuyo caso un solo pase de cultivador durante la primavera puede ser suficiente para controlar la cubierta, o incluso la rastra tenga el mismo efecto.

El gradeo de cubiertas en cultivos leñosos es una labor muy frecuente tanto en olivar como en almendro, ya que consigue enterrar de forma muy eficaz los residuos de cualquier cubierta. Sin embargo, este apero provoca volteo del suelo, tiene un peso medio mayor al de un cultivador de la misma gama y se clava en el suelo en función del diámetro de los discos (15-25 cm). Este apero ocasiona grandes pérdidas de agua por evaporación, especialmente cuando se utiliza en primavera, época en la que la demanda evaporativa es grande, dando lugar también a la compactación del suelo en profundidad, formando suelas de labor poco permeables, lo que puede limitar la infiltración del agua en profundidad (Pastor *et al.*, 2001). La labor de la grada fragmenta más los residuos vegetales y el propio suelo, lo que reduce la relación C/N del suelo y lo hace más vulnerable a la erosión hídrica (Castro *et al.*, 2008). Además, la grada de discos afecta a las anuales bien establecidas, a las rastreras y las de pequeña talla (Domínguez *et al.*, 2002), por lo que, en parcelas manejadas con gradeo, cuando se cambia el tipo de labor por la de un cultivador, sucede una explosión de arvenses anuales, y se permite el establecimiento de ciertos grupos con una funcionalidad clave en la protección del suelo frente a la erosión y la reducción de la evaporación directa de agua desde el suelo.

En cuanto a la siega a diente, está indicada especialmente en olivares con pendientes superiores al 15%. Es la forma más inteligente de convertir un residuo en un recurso de mayor valor, en parcelas preparadas y con un manejo adecuado que no implique un efecto indeseable sobre la producción del cultivo principal. Por ejemplo en el caso de Los Pedroches, el arriendo de los pastos de la cubierta representa un 2,9% de sus ingresos, a lo que hay que añadir el ahorro de los costes para el control de la cubierta. Sin embargo, este manejo requiere contar con suficiente carga ganadera para eliminar la cubierta de forma uniforme en un corto período de tiempo, entre el mes de marzo y abril, antes de que la hierba empiece a competir por el agua con el cultivo. En años normales esto puede suponer cargas ganaderas de entre 20-30 ovejas/ha para efectuar el control de la cubierta en un mes (Foraster, 2010). El aprovechamiento forrajero de la cubierta implica la retirada de la biomasa producida por la cubierta, por lo que la actividad microbiana y los beneficios derivados serán menos aparentes respecto a los tratamientos en que se siega o se incorpora la cubierta (Ramos *et al.*, 2010), donde se produce la acumulación de carbono por desfronde y material senescente durante más de una campaña (Okur *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2009; Virto *et al.*, 2012) los valores de carbono y las variables relacionadas aumentan. Además del carbono soluble, el contenido de fósforo y potasio es más alto en los suelos pastoreados que en los segados para heno y para paja y grano (Ramos *et al.*, 2010).

BIBLIOGRAFÍA

- AADGE (Asociación Andaluza de Ganadería Ecológica) (2000). *Integración de ganado ovino en olivares de producción ecológica: plan de formación*. Boletín nº 1.10/00. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, Sevilla.
- ABRAHAM, C.T., & SINGH, S.P. (1984). Weed management in sorghum-legume intercropping systems. *Journal of Agricultural Science*, 103: 103-115.
- AGUILERA, E., LASSALETTA, L., SANZ COBENA, A., GARNIER, J., & VALLEJO, A. (2013). The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164: 32-52.
- ALCÁNTARA, C. (2005). "Selección y manejo de especies crucíferas para su uso como cubiertas vegetales en olivar". Tesis Doctoral. Drs. Saavedra, M., & Pujadas, A. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- ALCÁNTARA, C., PUJADAS, A., & SAAVEDRA, M. (2008). Selección y manejo de especies crucíferas para su uso como cubiertas vegetales. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 912: 846-849.
- ALCÍBAR, M. (2003). La metáfora cibernética y los ecosistemas. [*Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*](#), 6: 183-191.
- ALDEBIS, H.K., JIMENEZ, B., RUIZ, F., & TRAPERO, A., (2005). "Efecto de sistemas de manejo del suelo y de tratamientos fitosanitarios sobre las principales enfermedades foliares del olivo". En *XII Simposio Científico-Técnico Expoliva*, Jaén, pp. 160-165.
- ALONSO, A., GUZMÁN, G., DOMÍNGUEZ, D., & SIMÓN, X. (2002b). Importancia de la agricultura y olivar ecológico en la UE. *Oleo Dossier*, 87: 76-85.
- ALONSO, A.M. (2003). "Análisis de la sostenibilidad agraria: el caso del olivar en la comarca de Los Pedroches (Córdoba)". Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Inédito.
- ALONSO, A.M. (2011). Capítulo 12: La economía del olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 391-418.
- ALONSO, A.M., & GUZMÁN, G.I. (2003). "El olivar de montaña en la comarca de los Pedroches (Córdoba): manejo ecológico versus manejo convencional". En *Actas de Ecoliva 98 y 2000*, Puente de Génave (Jaén), 9-12 de noviembre de 2000, 9 p.
- ALONSO, A.M., & GUZMÁN, G.I. (2004a). "Evaluación de la sostenibilidad en el manejo del olivar en la comarca de Los Pedroches (Córdoba)". En *Actas de Ecoliva y V Jornadas Internacionales del Olivar Ecológico*, Puente de Génave (Jaén), 20-23 de mayo de 2004, 12 p.
- ALONSO, A.M., & GUZMÁN, G.I. (2004b). Capítulo VI: La sustentabilidad del olivar ecológico. En VV.AA. *Manual de Olivicultura Ecológica*. ISEC-Universidad de Córdoba, Córdoba. pp. 117-138.
- ALONSO, A.M., & GUZMÁN, G.I. (2006). Evaluación comparada de la sostenibilidad agraria en el olivar ecológico y convencional. *Agroecología*, 1: 63-73.
- ALONSO, A.M., & GUZMÁN, G.I. (2010). Comparison of the Efficiency and Use of Energy in Organic and Conventional Farming in Spanish Agricultural Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34 (3): 312-338.

- ALONSO, A.M., GUZMÁN, G., & SERRANO, C. (2002a). "Estudio comparativo de la producción ecológica y convencional de aceite de oliva en la comarca de Sierra Mágina (Jaén)". En *Actas del V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*, Gijón, 16-20 de septiembre de 2002, Tomo I, pp. 599-610.
- ALONSO, A.M., GUZMÁN, G.I, FORASTER, L., & GONZÁLEZ, R. (2008). Capítulo 2: Impacto socioeconómico y ambiental de la agricultura ecológica en el desarrollo rural. En *Producción Ecológica: Influencia en el Desarrollo Rural*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. pp. 71-266.
- ALONSO MIELGO, A.M., SEVILLA GUZMÁN, E., JIMÉNEZ ROMERA, M., & GUZMÁN CASADO, G.I. (2001). Rural development and ecological management of endogenous resources: The case of mountain olive tree in Los Pedroches Comarca (Spain). *Journal of Environmental Policy and planning*, 3 (2): 163-175.
- ALTIERI, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1): 19-31.
- ALTIERI, M.A., & NICHOLLS, C.I. (2007). *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. Icaria, Barcelona. 247 p.
- ÁLVAREZ, J.M. (2011). Capítulo 5: Compostaje de alperujo. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 127-154.
- ARANDA, S. (2010). "Estructura y diversidad genética de poblaciones bacterianas en la rizosfera de olivo (*Olea europaea* L. subsp. *europaea*) en Andalucía". Tesis doctoral. Dra. Landa del Castillo, B.B. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- ARANDA, V., DOMÍNGUEZ-VIDAL, A., MARTÍN-GARCÍA, J.M., CALERO, J., DELGADO, R., VERDEJO, T., & GONZÁLEZ-VILA, F.J. (2011). Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). *Geoderma*, 164(1): 54-63.
- ARGUMEDO, A. (1993). *Los Silencios y las Voces en América Latina: Notas Sobre el Pensamiento Nacional y Popular*. Ediciones Colihue, Buenos Aires. 334 p.
- ARIAS, R.L., & SÁNCHEZ, J.C.E. (2004). Características de la endodermis en la raíz de *Coespeletia* (Asteraceae). *Caldasia*, 26(1): 53-60.
- ARRIAZA, M., GOMEZ-LIMON, J.A., KALLAS, Z., & NEKHAY, O. (2008). Demand for non-commodity outputs from mountain olive groves. *Agricultural Economics Review*, 9(1): 5-23.
- Asociación CAAE (2010). El mercado ecológico mundial crece pese a la crisis. *Actualidad Ecológica*, 43: 78-80.
- Asociación CAAE (2011). 20 años de valor ecológico. *Actualidad ecológica*, 47: 36-37
- ASTIER, M., MASERA, O., & GALVÁN-MIYOSHI, Y. (coord.) (2008). *Evaluación de sostenibilidad: Un enfoque dinámico y multidimensional* (1ª ed.). Mundi-Prensa, Valencia. 200 p.
- ATUCHA, A., MERWIN, I.A., BROWN, M.G., GARDIAZABAL, F., MENA, F., ADRIAZOLA, C., & LEHMANN, J. (2013). Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. *Plant and Soil*, 368(1-2), 393-406.

- AUGÉ, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, 84(4): 373-381.
- AUGÉ, R. M., STODOLA, A. J., TIMS, J. E., & SAXTON, A. M. (2001). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant and Soil*, 230(1): 87-97.
- BAOURAKIS, G., & APOSTOLAKIS, I. (1999). A statistical assessment of consumers' criteria regarding organic agricultural products: the case of organic olive oil. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 24(1): 21-31
- BAREA, F. & RUIZ, P. (2009). Capítulo 6: Estrategias de futuro para el sector oleícola andaluz. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 221-255.
- BARNES, J.P., & PUTNAM, A.R. (1983). Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *Journal of Chemical Ecology*, 9(8): 1045-1057.
- BARNES, J.P., & PUTNAM, A.R. (1987). Role of benzoxazinones in allelopathy by rye (*Secale cereale* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 13(4): 889-906.
- BARNES, J.P., PUTNAM, A.R., BURKE, B.A., & AASEN, A.J. (1987). Isolation and characterization of allelochemicals in rye herbage. *Phytochemistry*, 26(5): 1385-1390.
- BARRANCO, D. (1982). "Las variedades del olivo cultivadas en Andalucía: prospección, inventario, origen y difusión". Tesis Doctoral. Dr. Rallo, L. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., & RALLO, L. (2008). *El Cultivo del olivo* (6ª ed.). Mundi-Prensa, Madrid. 845 p.
- BARRIA, B. N., COPAJA, S. V., & NIEMEYER, H. M. (1992). Occurrence of diboa in wild *Hordeum* species and its relation to aphid resistance. *Phytochemistry*, 31(1): 89-91.
- BASTÍAS, E., ESCOBAR, H., CARRASCO, L., FIGUEROA, L., & TAPIA, L. (2002). Caracterización de las relaciones hídricas y respuestas fisiológicas en plantas de olivo (*Olea europaea* L.) cultivadas en condiciones de salinidad, I Región. *Idesia*, 20 (2): 103-110.
- BASTIDA, F., LUIS MORENO, J., HERNANDEZ, T., & GARCÍA, C. (2006). Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and biochemistry*, 38(12): 3463-3473.
- BEECHER, N. A., JOHNSON, R. J., BRANDLE, J. R., CASE, R. M., & YOUNG, L. J. (2002). Agroecology of birds in organic and nonorganic farmland. *Conservation biology*, 16(6): 1620-1631.
- BELAJ, A., MUÑOZ-DIEZ, C., BALDONI, L., SATOVIC, Z., & BARRANCO, D. (2010). Genetic diversity and relationships of wild and cultivated olives at regional level in Spain. *Scientia Horticulturae*, 124: 323-330.
- BELLIN, N., VAN WESEMAEL, B., MEERKERK, A., VANACKER, V., & BARBERA, G.G. (2009). Abandonment of soil and water conservation structures in Mediterranean ecosystems: a case study from south east Spain. *Catena*, 76(2): 114-121.
- BELLIN, N., VANACKER, V., VAN WESEMAEL, B., SOLÉ-BENET, A., & BAKKER, M.M. (2011). Natural and anthropogenic controls on soil erosion in the Internal Betic Cordillera (southeast Spain). *Catena*, 87(2): 190-200.
- BENÍTEZ, E., NOGALES, R., CAMPOS, M., & RUANO, F. (2006). Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems. *Applied Soil Ecology*, 32(2): 221-231.

- BERNABÉU, R., OLMEDA, M., DÍAZ, M., & OLIVAS, R. (2009). Oportunidades comerciales para el aceite de oliva de Castilla-La Mancha. *Grasas y Aceites*, 60 (5): 525-533
- BLANCO, Y. (2006). Revisión bibliográfica: La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 27(3): 5-16.
- BOE (2007). Llei 45/2007, de 13 de desembre, per al desenvolupament sostenible del medi rural. *Boletín Oficial del Estado*, 14 de desembre de 2007, núm. 299, p. 51343. Disponible en: <<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/14/pdfs/A51339-51349.pdf>> [Consulta: 20/12/2012]
- BOE (2011). Real Decreto 1336/2011, de 3 de octubre, por el que se regula el contrato territorial como instrumento para promover el desarrollo sostenible del medio rural. *Boletín Oficial del Estado*, 4 de octubre de 2011, núm. 239, Sec I, p. 104199. Disponible en: <<http://www.boe.es/boe/dias/2011/10/04/pdfs/BOE-A-2011-15567.pdf>> [Consulta: 20/12/2012]
- BOJA (2008). Orden de 16 de mayo de 2008, por la que se modifica la Orden de 5 de junio de 2007, por la que se desarrollan los requisitos de aplicación de la condicionalidad en relación con las ayudas directas en el marco de la política agrícola común. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 27 de mayo de 2008, núm. 104, pp. 41-53. Disponible en: <<http://www.juntadeandalucia.es/boja/2008/104/13>> [Consulta: 25/12/2012]
- BOJA (2011). Ley 5/2011, de 6 de octubre, del olivar de Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, 19 de octubre de 2011, núm. 205, p. 6. Disponible en red en: <http://www.juntadeandalucia.es/boja/2011/205/boletin.205.pdf>. [Consulta: 20/12/2012]
- BRAVO, H.R., COPAJA, S.V., & LAZO, W. (1997). Antimicrobial activity of natural 2-benzoxazolinones and related derivatives. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(8): 3255-3257.
- BUENO, A. M., & TORRES, M. J. R. (2000). Introducción al conocimiento de la Entomofauna del olivar en la provincia de Jaén. Aspectos cualitativos (I). *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 26(1): 129-148.
- BUTTEL, F.H. (2000). Ecological modernization as social theory. *Geoforum*, 31: 57-65.
- CABALLERO, J.A. (2001). Control de plagas y enfermedades de olivares ecológicos en la comarca de Los Pedroches. En CAAE (ed.). *La práctica de la agricultura y la ganadería ecológicas*. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, Sevilla. pp. 259-265.
- CALATRAVA, J. (1998). "Actitudes del consumidor español respecto a los productos ecológicos: análisis de relación entre la recepción de la calidad y la Disposición a Pagar (DAP) por los aceites de oliva". En *II Jornadas Mediterráneas de Olivar Ecológico y Ecología del Aceite de Oliva*, Puente de Génave (Jaén), pp. 1-13.
- CALATRAVA, J. (2002). *Actitudes del consumidor español respecto a los productos ecológicos*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.
- CAMPOS, M. (2011). Capítulo 6: Las plagas y su manejo en el olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 155-202.
- CANO, A. (2007). "Bioindicadores ecológicos y manejo de cubiertas vegetales como herramienta para la implantación de una agricultura sostenible". Tesis Doctoral. Drs. Cano, E. & García, A. Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Experimentales.

CANO, E., & CANO, A. (2008). "Bioclimatología y bioindicadores del olivar: Bases fundamentales para un desarrollo sostenible". En *Jornadas sobre Tecnologías y desarrollo sostenible en el olivar*, 29-31 octubre 2008, p. 11.

CAP (2008). *El sector del aceite de oliva y la aceituna de mesa en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Disponible en: <<http://ws128.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/estadisticas/estudios-e-informes/agricultura/olivar/sector-aceite-aceituna-mesa-andalucia.html>> [Consulta: 6/03/2012]

CAP (2009). *Aplicación de la condicionalidad en la comunidad autónoma de Andalucía. Actualización Campaña 2009: Requisitos legales de gestión y buenas condiciones agrarias y medioambientales*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. 73 p.

CAP (2010). *El sector agrario en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/servicio-estadisticas/Estudios-e-informes/El_sector_agrario_AND_090211.pdf> [Consulta: 17/3/2013]

CAP (2012). *El olivar ecológico incrementa 21% su superficie en zonas de alta productividad*. Noticias 19/08/2012. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/servicios/noticias/_detalles.html?uid=d918320d-ea9a-11e1-b989-1a4a0f000f45> [Consulta: 5/11/2012]

CARAMBULA, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur, Montevideo. 464 p.

CÁRCELES, B., FRANCIA, J. R., & MARTÍNEZ, A. (2009). "Impacto en el medio ambiente del cultivo de almendros en fuertes pendientes con dos cubiertas vegetales: Matorral y Leguminosa". En *Congreso Internacional sobre Desertificación*, Murcia, 16-18 de septiembre de 2009, pp. 191-194. Disponible en: <<http://congresos.um.es/icod/icod2009/paper/view/4421>> [Consulta: 05/01/2013]

CÁRCELES, B., FRANCIA, J. R., MARTÍNEZ, A., & DURÁN, V.H (2010). "Las técnicas de Agricultura de Conservación como opción sostenible para un cultivo leñoso de secano en suelos con pendientes extremas". En *Actas del Congreso Europeo de Agricultura de Conservación*, Madrid, 4-7 de octubre de 2010, pp. 297-301.

CÁRDENAS, M., COTES, B., FERNÁNDEZ, M.L., CASTRO, J., & CAMPOS, M. (2006). "Impact of cover-crop removal on soil arthropods in organic olive orchards". En *Proceedings of Olivebioteq, Biotechnology and Quality of Olive Tree Product around the Mediterranean Basin*, II, pp. 153- 156.

CASALÍ, J., GIMÉNEZ, R., DE SANTISTEBAN, L., ÁLVAREZ MOZOS, J., MENA, J., & DEL VALLE DE LERSUNDI, J. (2009). Determination of long-term erosion rates in vineyards of Navarre (Spain) using botanical benchmarks. *Catena*, 78(1): 12-19.

CASTRO, J., FERNÁNDEZ ONDOÑO, E., RODRÍGUEZ, C., LALLENA, A.M., SIERRA, M., & AGUILAR, J. (2008). Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil and Tillage Research*, 98(1): 56-67.

CASTRO, J., & PASTOR, M. (1992). "Siega química de una cubierta viva de cereal mediante el empleo de herbicidas". En *Congreso 1992 de la Sociedad Española de Malherbología*, pp. 225-236.

- CASTRO, J., SAAVEDRA, M., & PASTOR, M. (1992). Mejora de la infiltración en olivar mediante el empleo de cubiertas vivas de cereales. *ITEA*, 2: 95-104.
- CIRIO, U. (1997). Agrochemicals and environmental impact in olive farming. En *Olivae*, 65: 32-39.
- CIVANTOS, M. (1999). *Control de Plagas y Enfermedades del Olivar*. Consejo Oleícola Internacional, Madrid.
- CLARK, A. (ed.). (2008). *Managing cover crops profitably* (3rd ed.). Sustainable Agriculture Network. Handbook Series Book 9. DIANE Publishing, Beltsville. 248 p.
- COLL, P., LE CADRE, E., BLANCHART, E., HINSINGER, P., & VILLENAVE, C. (2011). Organic viticulture and soil quality: A long-term study in Southern France. *Applied Soil Ecology*, 50: 37-44.
- COLOMBO, S., & ROCAMORA, B. (2011). *Los contratos territoriales de zona rural para la difusión del olivar ecológico: la opinión de los agricultores*. Informe Área de Economía Agraria, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Granada. 15 p.
- CONWAY, G.R. (1986). *Agroecosystem analysis for research and development*. Winrock International Institute for Agricultural Development, Bangkok. 105 p.
- COTES, B., CAMPOS, M., PASCUAL, F., & RUANO, F. (2010). The Ladybeetle Community (Coleoptera: Coccinellidae) in Southern Olive Agroecosystems of Spain. *Environmental Entomology*, 39 (1): 79-87.
- COTES, B., RUANO, F., GARCÍA, P.A., PASCUAL, F., & CAMPOS, M. (2009). Coccinellid morphospecies as an alternative method for differentiating management regimes in olive orchards. *Ecological Indicators*, 9 (3): 548-555.
- CUADROS, S., MARTÍNEZ, A., & FRANCIA, J.R. (1993). "Cultivos frutales de secano en fuertes pendientes: aspectos erosivos". En *I Congreso Forestal Español*, Lourinzán 1993, Tomo III, pp. 39-44.
- CUBERO, S., & PECO J.M. (coord.) (2010). "Aproximación a los costes de producción en diferentes escenarios del cultivo del olivo". En *Seminario AEMO: Cuaderno de conclusiones*, Córdoba, junio de 2010. Disponible en: http://www.aemo.es/get.php?pathext=descargas/Costes_AEMO.pdf [Consulta: 10/11/2012]
- CUEVAS, E. (2001). "Estudio de mecanismos de adaptación Ecofisiológica de la vid (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) al déficit hídrico. Evaluación del consumo de agua y de las Respuestas agronómicas en diferentes Regímenes hídricos". Tesis Doctoral. Dr. Lissarrague, J.R. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- DABNEY, S.M., DELGADO, J.A., & REEVES, D.W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8): 1221-1250.
- DE ALBA, S. (2002). Erosión hídrica en campos de agricultura extensiva. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 13: 183-190.
- DE LA ROSA, L. (2000). *La colección de leguminosas grano*. Centro de Recursos Fitogenéticos. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia y Tecnología. 21 p.
- DELGADO, M. (2004). *Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal*. Disponible en: <http://www.oriusbitecnologia.com/> [Consulta: 30/01/2013]

- DOMÍNGUEZ, A., ROSELLÓ, J., & AGUADO, J. (2002). *Diseño y manejo de la diversidad vegetal en agricultura ecológica*. Phytoma-España: Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Valencia. 132 p.
- DUARTE, J., CAMPOS, M., GUZMÁN, J.R., GUY, A., FARFÁN, M.A., COTES, B., ... & MUÑOZ COBO, J. (2009). Capítulo 5: Olivar y biodiversidad. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 162-220.
- DURÁN, V.H., FRANCIA, J.R., GARCÍA, I., ARROYO, L., & MARTÍNEZ, A. (2012a). Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España). *Comunicata Scientiae*, 3(2): 123-129.
- DURÁN, V.H., FRANCIA, J.R., GARCÍA, I., RODRÍGUEZ, C.R., RAYA, A. M., & CUADROS, S. (2012b). Runoff and sediment yield from a small watershed in southeastern Spain (Lanjarón): implications for water quality. *Hydrological Sciences Journal*, 57(8): 1610-1625.
- DURÁN, V.H., RODRIGUEZ, C.R., ARROYO, L., MARTINEZ, A., FRANCIA, J.R., & CARCELES, B. (2009). Soil conservation measures in rainfed olive orchard in south-eastern Spain: impacts of plant strips on soil water dynamics. *Pedosphere*, 19: 453-464.
- ELABORACIÓN PROPIA, (2012). Precios medios de aceite AOVEC y AOVEE (2 a 5L PET y cristal) a través de venta por Internet (tiendas, agricultores y cooperativas) en otoño 2012. [Datos en línea]. Disponible en: <http://www.aceitevirgen.com>; <http://www.trujal.com>; <http://www.ecologicototal.com>; <http://www.antojodelsur.com>. [Consulta: 10/11/2012]
- ESCUADERO, A., GARRIDO, M.V., & GÓMEZ GUTIÉRREZ, J.M. (1985). Decay of leaf litter from *Quercus rotundifolia* and *Quercus pyrenaica* in dehesa (pasture) ecosystems (Spain). *Anales Edafología y Agrobiología*, 44: 65-80.
- Europa (2012). *Síntesis de la legislación de la U.E. Pago Único por explotación*. Disponible en: <Europa.eu/legislation_summaries/agriculture/general_framework/ag0003_es.htm> [Consulta: 20/11/2012].
- EUROSTAT (2012). Certified organic crop area. Disponible en: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=food_in_porg1&lang=en> [Consulta: 5/11/2012]
- FERNÁNDEZ, J.E., MORENO, F., CABRERA, F., ARRUE, J.L., & MARTÍN-ARANDA, J. (1991). Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant and soil*, 133(2): 239-251.
- FERNÁNDEZ, J.E., MORENO, F., GIRÓN, I.F., & BLÁZQUEZ, O.M. (1997). Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant and soil*, 190(2): 179-192.
- FERNÁNDEZ UGALDE, O., VIRTO, I., BARRÉ, P., GARTZIA BENGOTXEA, N., ENRIQUE, A., IMAZ, M.J., & BESCANSÀ, P. (2011). Effect of carbonates on the hierarchical model of aggregation in calcareous semi-arid Mediterranean soils. *Geoderma*, 164(3): 203-214.
- FOLORUNSO, O., ROLSTON, D., PRICHARD, P., & LOUIE, D. (1992). Cover crops lower soil surface strength, may improve soil permeability. *California Agriculture*, 46(6): 26-27.
- FONT I QUER, P., & DE BOLÒS, O. (1979). *Iniciació a la botànica*. Fontalba, Barcelona. 262 p.

FORASTER, L. (2004). "Las cubiertas vegetales en el cultivo ecológico del olivo: evaluación de su impacto sobre el olivar y exploración de la integración del ganado ovino para su control". Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

FORASTER, L. (2010). Las cubiertas vegetales en el rediseño del olivar para una transición agroecológica. Trabajo de Maestría en Agroecología: Un enfoque sustentable de la agricultura ecológica (2007). Universidad Internacional de Andalucía. Disponible en: < <http://dspace.unia.es/handle/10334/223>>

FORASTER, L., GÓMEZ, E.J., IGLESIAS, I., MACÍAS, F.J., & RUÍZ DE LA ROSA, M. (2011). *Estudio para la delimitación de zonas experimentales en el olivar de la Sierra de las Nieves Reserva de la Biosfera: Caracterización y recomendaciones para el manejo ecológico del olivar*. Mancomunidad de Municipios Sierra de las Nieves, Málaga. 247 p.

FORASTER, L., LORITE, M.J., MUDARRA, I., ALONSO, A.M., PUJADAS-SALVÀ, A., & GUZMÁN, G.I. (2006a). "Evaluación de distintos manejos de las cubiertas vegetales en olivar ecológico". En *VII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Zaragoza, 18-23 de septiembre de 2006. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Formato CD: Doc. 14.

FORASTER, L., RODRÍGUEZ, P., GUZMÁN, G.I., & PUJADAS-SALVÀ, A. (2006b). "Ensayo de diferentes cubiertas vegetales en olivar ecológico en Castril (Granada)". En *VII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Zaragoza, 18-23 septiembre de 2006. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Formato CD: Doc. 16.

FRANCIA, R., MARTÍNEZ, A., & GUTIÉRREZ, R. (2000). Erosión en suelos de olivar en fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. *Edafología*, 7-2: 147-155.

GAITÁN, A.J., LÓPEZ, I., & ORTIZ, F. (2011). *Estudio comparativo entre Olivar Ecológico, Convencional y Adehesado*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Sevilla. 48 p.

GALLAR, D., & ALONSO, A.M. (2004). "Proyecto para el desarrollo de la agricultura y ganadería ecológicas en el Parque Natural Sierras Subbéticas". En *Actas de VI Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*. Almería, 27 de septiembre-2 de octubre de 2004, pp. 191-206.

GARCÍA, A., & CANO, E. (1995). *Malas hierbas del olivar giennense*. Instituto de Estudios Giennenses. Diputación Provincial de Jaén, Jaén.

GARCÍA BRENES, M. D. (2006). Reestructuración, explotaciones unifamiliares y el cultivo del olivar en Andalucía. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(21): 119-150.

GARCÍA ORENES, F., ROLDÁN, A., MATAIX SOLERA, J., CERDA, A., CAMPOY, M., ARCENEGUI, V., & CARAVACA, F. (2012). Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use and Management*, 28(4): 571-579.

GARCÍA RUIZ, J.M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena*, 81(1): 1-11.

GARCÍA RUIZ, R., & GÓMEZ MUÑOZ, B. (2011). Capítulo 11: Contribución del olivar ecológico en la mitigación de gases de efecto invernadero. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. p. 353.

- GARCÍA RUIZ, R., GÓMEZ MUÑOZ, B., CARREIRA, J.A., & HINOJOSA, M.B. (2011). Capítulo 4: La fertilización en el olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. p. 89.
- GARCIA RUIZ, R., OCHOA, V., HINOJOSA, M.B., & CARREIRA, J.A., (2008). Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40: 2137-2145.
- GARCÍA RUIZ, R., OCHOA, V., VINEGLA, B., HINOJOSA, M. B., PEÑA SANTIAGO, R., LIÉBANAS, G., ... & CARREIRA, J. A. (2009). Soil enzymes, nematode community and selected physico-chemical properties as soil quality indicators in organic and conventional olive oil farming: Influence of seasonality and site features. *Applied Soil Ecology*, 41 (3): 305–314.
- GARCÍA TRUJILLO, R. (2001). Integración entre olivar y ganadería: la finca ecológica Santa Casilda en Los Pedroches. *La Práctica de la Agricultura y Ganadería Ecológicas*. Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, Sevilla, pp. 305-310.
- GARCÍA TRUJILLO, R. (2002). “Estudio del Mercado Ecológico en la Ciudad de Córdoba”. En *V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*, Gijón, 16-20 de septiembre de 2002, Tomo II, p. 1365.
- GARCÍA TRUJILLO, R. (2008a). *Goal Plow Technology*. Beneficios de la tecnología de labranza horizontal del suelo (GPT). Inédito.
- GARCÍA TRUJILLO, R. (2008b). *Estudio para el desarrollo de la Agricultura y la Ganadería Ecológicas en el municipio de Castril*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. 236 p.
- GARRIDO, F.J. (2002). Capítulo 4: Planificación participativa para el desarrollo local. *Metodologías y presupuestos participativos: Construyendo ciudadanía/3*. Iepala. p. 123.
- GIRONA, J., MARSAL, J., MATA, M., DEL CAMPO, J., & BASILE, B. (2009). Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(3): 268-277.
- GLIESSMAN, S.R. (2002). *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 359 p.
- GOICOECHEA, N., (2009). To what extent are soil amendments useful to control *Verticillium* wilt? *Pest Management Science*, 65: 831-839.
- GOLDHAMER, D.A., VIVEROS, M., & SALINAS, M. (2006). Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*, 24(2): 101-114.
- GÓMEZ, J.A. (2005). Effects of soil management on soil physical properties and infiltration in olive orchards: Implications for yield. *FAO Land and Water Bulletin*, 10: 65-70.
- GÓMEZ, J.A., & GIRÁLDEZ, J.V. (2007). Efecto de las cubiertas vegetales sobre la escorrentía, erosión y propiedades del suelo. *Vida Rural*, 251: 24-27.
- GÓMEZ, A. & GIRÁLDEZ, V. (2009). Capítulo 3: Erosión y degradación de suelos. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 67-125.

- GÓMEZ, J.A., GIRÁLDEZ, J.V., PASTOR, M., & FERERES, E. (1999). Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil and tillage research*, 52(3): 167-175.
- GÓMEZ, J.A., GUZMAN, M.G., GIRALDEZ, J.V., & FERERES, E., (2009b). The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 106: 137-144.
- GÓMEZ, J.A., GUZMÁN, G., VANWALLEGHEN, T., CAMPOS, M., & GIRÁLDEZ, J.V. (2010). "Comparación de las pérdidas de suelo y escorrentía durante siete años en un olivar de verdeo en laboreo y en cubierta vegetal en la calle". En *Actas del Congreso de Agricultura de Conservación*, Madrid, 4-7 de octubre de 2010. MARM, pp. 427-432.
- GÓMEZ, J.A., LLEWELLYN, C., BASCH, G., SUTTON, P.B., DYSON, J.S., & JONES, C.A. (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27(4): 502-514.
- GÓMEZ, J.A., SOBRINHO, T.A., GIRÁLDEZ, J.V., & FERERES, E. (2009a). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 102(1): 5-13.
- GONZÁLEZ, M., & GUZMÁN, G.I. (2006). *Tras los pasos de la insostenibilidad: Agricultura y medio ambiente en perspectiva histórica (s.XVIII-XX)*. Icaria, Barcelona. 502 p.
- GONZÁLEZ SÁNCHEZ, E.J., ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ, R., CARBONELL BOJOLLO, R., VEROZ GONZÁLEZ, O., & GIL RIBES, J.A. (2012). Meta-analysis on atmospheric carbon capture in Spain through the use of conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*, 122: 52-60.
- GOÑI, J., ARNAL, A.L., SEGURA, A., & PÉREZ, J.D. (2004). Estrategias para el desarrollo de las leguminosas grano en Navarra. *Navarra agraria*, 147: 19-24.
- GRAHAM, P.H., & VANCE, C.P. (2003). Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiology*, 131: 872-877
- GUÀRDIA, R., CASAS, C., & NINOT, J.M. (1998). Phenological patterns in Mediterranean pastures and scrubs of Catalonia. *Acta Botánica Barcinonensis*, 45: 557-576.
- GUZMÁN, G., & FORASTER, L. (2007). *Manejo de la cubierta vegetal en el olivar ecológico en Andalucía: siembra de leguminosas entre calles: Informe anual 2007*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. 78 p.
- GUZMÁN, G., SERRANO, C., & ALONSO, A. (2002a). "Evaluación de la productividad del olivar ecológico e integrado del municipio de Deifontes (Granada)". En *V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*, Gijón, 16-20 de septiembre de 2002, Tomo I, pp. 611-622.
- GUZMÁN, G., SERRANO, C., & ALONSO, A. (2002b). "Productividad del olivar ecológico y convencional del municipio de Colomera (Granada)". En *V Congreso de la SEAE y I Congreso Iberoamericano de Agroecología*, Gijón, 16-20 de septiembre de 2002, Tomo I, pp. 623-632.
- GUZMÁN, G.I., & ALONSO, A.M. (2004a). "Caracterización estructural y tecnológica de la olivicultura ecológica en la provincia de Granada". En *Actas de VI Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Almería, 27 de septiembre-2 de octubre de 2004, pp. 209-222.

- GUZMÁN, G.I., & ALONSO, A.M. (2004b). "Análisis de la sustentabilidad de la olivicultura ecológica en la provincia de Granada". En *Actas de VI Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Almería, 27 de septiembre-2 de octubre de 2004, pp. 1819-1834.
- GUZMÁN, G.I., & ALONSO, A.M. (2008a). A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems*, 98(3): 167-176.
- GUZMÁN, G.I., & ALONSO, A.M. (2008b). *Buenas Prácticas en Producción Ecológica: Uso de Abonos Verdes*. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. 22 p.
- GUZMÁN, G.I., & ALONSO, A.M. (2011). Capítulo 10: La eficiencia energética del olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. p. 327.
- GUZMÁN, G.I., & FORASTER, L. (2008). *Buenas Prácticas en producción Ecológica: Cultivo del olivar*. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. 29 p.
- GUZMÁN, G.I. & FORASTER, L. (2011). Capítulo 3: El manejo del suelo y las cubiertas vegetales en el olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 45-88.
- GUZMÁN, G.I., GONZÁLEZ, M., & SEVILLA, E. (2000) *Introducción a la Agroecología como Desarrollo Rural Sostenible*. Mundi-Prensa, Madrid. 534 p.
- GUZMÁN, G.I., GONZÁLEZ DE MOLINA, M., & ALONSO, A.M. (2011). The land cost of agrarian sustainability: An assessment. *Land Use Policy*, 28: 825– 835.
- GUZMÁN ÁLVAREZ, J. R., GÓMEZ, J. A., & RALLO, L. (2009). Capítulo 1: El olivar en Andalucía: lecciones para el futuro de un cultivo milenario. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 13-32.
- HERENCIA, J.F. (2011). Capítulo 9: Biodiversidad funcional de la microbiota edáfica: importancia para el manejo del olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 281-326.
- HERMOSÍN, M.C., CALDERON, M.J., REAL, M., & CORNEJO, J. (2013). Impact of herbicides used in olive groves on waters of the Guadalquivir river basin (southern Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164: 229-243.
- HERMOSÍN, M.C., RODRÍGUEZ LIZANA, A., CORNEJO, J., & ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ, R. (2008). Capítulo 4: Efecto del uso de agroquímicos en olivar sobre la calidad de las aguas. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 87-108.
- HERNÁNDEZ, A.J., LACASTA, C., & PASTOR, J. (2000). "Cubiertas vegetales para un viñedo ecológico en zonas semiáridas". En *IV Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Córdoba, 19-23 de septiembre de 2000. Disponible en: < http://www.uib.es/catedra_iberamericana/publicaciones/seae/mesa7/vinyedo.html> [Consulta: 09/11/2007]
- HERNÁNDEZ, A.J., LACASTA, C., & PASTOR, J. (2005). Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77(1): 232-248.

- HERNANZ, J.L., SÁNCHEZ-GIRÓN, V., & NAVARRETE, L. (2010). "Evolución del carbono orgánico del suelo con tres sistemas de laboreo, Convencional, Mínimo y Siembra Directa, para una rotación cereal leguminosa en un experimento de larga duración (1985-2005)". En *Actas del Congreso de Agricultura de Conservación*, Madrid, 4-7 de octubre de 2010. MARM, pp. 461-466.
- HOFFMAN, M.L., BUXTON, J.W., & WESTON, L.A. (1996). Using subirrigation to maintain soil moisture content in greenhouse experiments. *Weed science*, 44(2): 397-401.
- HOLLING, C.S. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4(5): 390-405.
- HOOKE, J., & SANDERCOCK, P. (2012). Use of vegetation to combat desertification and land degradation: Recommendations and guidelines for spatial strategies in Mediterranean lands. *Landscape and Urban Planning*, 107(4): 389-400.
- HUDSON, B. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(2): 189-194.
- HUMANES, M., & PASTOR, M. (1995). "Comparación de los sistemas de siega química y mecánica para el manejo de cubiertas de veza (*Vicia sativa* L.) en las interlíneas de los olivos". En *Actas Sociedad Española de Malherbología, Congreso 1995*, Huesca 14-16 de noviembre de 1995, pp. 235-238.
- HUSTON, M.A. (1999). Local processes and regional patterns: appropriate scales for understanding variation in the diversity of plants and animals. *Oikos*, 86(3): 393-401.
- IEC (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía) (2009). *Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía*. Consejería de Innovación, Ciencia y Empleo. Disponible en: <www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/bd/sima_web/sima_tabla.jsp> [Consulta: 3/11/2012]
- INE (Instituto Nacional de Ecología) (2011). *Diagnóstico de la situación del endosulfán en México*. Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/2011_diag_endosulfan_mex.pdf> [Consulta: 14/12/2012]
- JAMBRINA, J.L., & CRESPO, M.C. (1985). El Altramuz [*Lupinus*]. Cultivo de futuro. *Revista de Extensión Agraria*.
- JENKINSON, D. S. (2001). The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil*, 228(1): 3-15.
- JOFFRE, R., & RAMBAL, S. (1993). How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570-582.
- JUBETE, F.F. (1991). Los titarros: el cultivo de "Lathyrus" en Castilla y León. Junta de Castilla y León. *Agricultura*, 181-185.
- JURADO, A., DE HARO, M.I., & DE LUNA, E. (2010). "Manejo de suelo de olivar en pendiente. Avanzando hacia la sostenibilidad". En *Actas del Congreso de Agricultura de Conservación*, Madrid, 4-7 de octubre de 2010. MARM, pp. 493-500.
- KABOURAKIS, E. (1996). "Prototyping and dissemination of ecological olive production systems: a methodology for designing and a first step towards validation and dissemination of

prototype ecological olive production systems (EOPS) in Crete". Tesis Doctoral. Drs. Goewie, E.A. & Vereijken, P. Universidad de Wageningen.

KALBITZ, K., SCHWESIG, D., SCHMERWITZ, J., KAISER, K., HAUMAIER, L., GLASER, B., ... & LEINWEBER, P. (2003). Changes in properties of soil-derived dissolved organic matter induced by biodegradation. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(8), 1129-1142.

LABRADOR J., GONZÁLEZ V., & PAJARÓN M. (2010). "Organic olive selected innovations in the production systems in Spain". En *The International Conference on Organic Agriculture and Agro-Eco Tourism in the Mediterranean*, Zakynthos, 16-18 September 2011. DIO, p. 25. Disponible en: <<http://orgprints.org/19529>>. [Consulta: 5/12/2012]

LACASTA DUTOIT, C., BENÍTEZ, M., MAIRE, N., & MECO, R. (2006). "Las rotaciones de cultivos en lo agrosistemas de cereales y su influencia sobre diferentes parámetros bioquímicos". En *VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica*, Zaragoza, 18-23 de septiembre de 2006, Trabajo 152.

LAMPKIN, N. (2001). *Agricultura Ecológica*. Mundi-Prensa. 724 p.

LIEBMAN, M., & DAVIS, A.S. (2000). Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed research*, 40(1): 27-48.

LÓPEZ, F., ALONSO, F., CONESA, C., HERNÁNDEZ, E., & ALVAREZ, Y. (2004). La huella ecológica del cultivo del olivo en España y su aplicabilidad como indicador de agricultura sostenible. *Papeles de geografía*, 39: 141-156.

LÓPEZ GÁLVEZ, J., & NAREDO PÉREZ, J.M. (1996). *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos*. Visor, Madrid. 150 p.

LÓPEZ, M. (2007). "Metabolismo carbonado nodular en *Medicago truncatula*-*Sinorhizobium meliloti*, *Lotus japonicus*-*Mesorhizobium loti* en estrés salino: implicación de la trehalosa". Tesis Doctoral. Dr. Lluch, C., & Herrera, J.A. Universidad de Granada, Facultad de Ciencias.

LUELMO, P.A.C., OLÁIZ, I., FERNÁNDEZ, M.P.C., & SÁNCHEZ, B.R. (2009). Leguminosas de grano tradicionales cultivadas en España. *Vida rural*, 300: 42-46.

MAETENS, W., VANMAERCKE, M., POESEN, J., JANKAUSKAS, B., JANKAUSKIENE, G., & IONITA, I. (2012). Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean: A meta-analysis of plot data. *Progress in Physical Geography*, 36(5): 599-653.

MANN, H.R., MAXWELL, C.D., & EMERY, R.J.N. (2007). The effect of ground cover or initial organic carbon on soil fungi, aggregation, moisture and organic carbon in one season with oat (*Avena sativa*) plots. *Soil and Tillage Research*, 96(1): 83-94.

MARAÑÓN, T. (1985). *Floristic diversity and environmental heterogeneity in a "dehesa" of Sierra Morena (Spain)*. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 44(7-8): 1183-1197. Disponible en: <<http://digital.csic.es/bitstream/10261/54811/1/Diversidad%20flor%C3%ADstica%20y%20heterogeneidad%20ambiental.pdf>> [Consulta: 27/01/2013]

MARES, M.A. (1996). Neotropical mammals and the myth of Amazonian biodiversity. En Fred B. Samson and Fritz L. Knopf (eds.). *Ecosystem Management: Selected Readings*. Springer. New York. p. 10. Disponible en: <books.google.es/> [Consulta: 15-1-2013]

MARGALEF, R. (1976). *La teoria de la informació en ecologia. A vint anys de distància*. Conferencia inaugural del Curs 1976-1977. Societat Catalana de Biologia.

MARGALEF, R. (1980). *La biosfera: entre la termodinámica y el juego*. Omega, Barcelona. 236 p.

MARM (2004). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2004*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/2004_tcm7-8083.pdf> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2005). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2005*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/2005_tcm7-8084.pdf> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2006). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2006*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/2006_tcm7-8085.pdf> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2007). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2007*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/2007_tcm7-8086.pdf> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2008). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2008*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/2008_tcm7-8087.pdf> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2009a). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2009*. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/INFORME_NACIONAL_2009_V_14_tcm7-8092.pdf> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2009b). *Marketing y alimentos ecológicos. Manual de aplicación a la venta detallista*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/marketing_tcm7-8096.pdf> [Consulta: 8/11/2012]

MARM (2010a). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2010*. Disponible en: <[http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/INFORME_NACIONAL_2010_\(4\)_tcm7-171341.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/INFORME_NACIONAL_2010_(4)_tcm7-171341.pdf)> [Consulta: 3/11/2012]

MARM (2010b). *Valor y volumen de los productos ecológicos de origen nacional en la industria agroalimentaria española*. Junio de 2010. Disponible en: <[http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Valoraci%C3%B3n_de_la_Producci%C3%B3n_Ecol%C3%B3gica_Espa%C3%B1ola_\(2009\)_tcm7-132015.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Valoraci%C3%B3n_de_la_Producci%C3%B3n_Ecol%C3%B3gica_Espa%C3%B1ola_(2009)_tcm7-132015.pdf)> [Consulta: 4/11/2012]

MARM (2010c). *El mercado de Productos Ecológicos-Año 2010- (Evolución de las categorías en los establecimientos en régimen de libre servicio ≥ 100 m²)*. Disponible en: <[http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Comercializaci%C3%B3n_ECO_libreservicios_\(%2B_100m2\)_2010_tcm7-161419.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Comercializaci%C3%B3n_ECO_libreservicios_(%2B_100m2)_2010_tcm7-161419.pdf)> [Consulta: 8/11/2012]

MARM (2010d). *Estudio de la cadena de valor y formación de precios del aceite de oliva*. Agencia para el aceite de oliva. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/estudio_aceite_tcm7-14624.pdf> [Consulta: 8/11/2012]

- MARM (2011). *Agricultura Ecológica. Estadísticas 2011*. Disponible en: www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/INFORME_NACIONAL_2011_190912_tcm7-220494.pdf [Consulta: 3/11/2012]
- MARM (2012a). *Caracterización del sector de la producción ecológica española en términos de valor, volumen y mercado*. Septiembre 2012. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Actualizaci%C3%B3n_Caracterizaci%C3%B3n_Sector_P._Ecol%C3%B3gica-Sept.2012-Informe_Final_definitivo_-_Web-.20.11.12_tcm7-232360.pdf_tcm7-232360.pdf [Consulta: 5/11/2012]
- MARM (2012b). *Caracterización del mercado de productos ecológicos en los canales especialistas de venta. Valor, volumen, viabilidad y buenas prácticas de comercialización*. Febrero 2012. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agriculturaecologica/INFORME_Caracterizaci%C3%B3n_de_canales_especialistas_de_venta_de_producto_ecol%C3%B3gico_tcm7-202140.pdf [Consulta: 4/11/2012]
- MARM (2012c). *Caracterización de la presencia y posicionamiento de los productos ecológicos en los libreservicios de distribución organizada de más de 100 m2. Evolución del mercado de Productos Ecológicos. (Evolución de las categorías en los establecimientos en régimen de libreservicio >100 m2)*. Junio de 2012. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Comercializaci%C3%B3n_ECO_libreservicios_\(%2B_100m2\)_2012_tcm7-223944.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/la-agricultura-ecologica/Comercializaci%C3%B3n_ECO_libreservicios_(%2B_100m2)_2012_tcm7-223944.pdf) [Consulta: 8/11/2012]
- MÁRQUEZ, F., GIRÁLDEZ, J.V., RODRÍGUEZ, A., & ORDÓÑEZ, R. (2007). "Un análisis sencillo para describir la influencia de diferentes sistemas de manejo de suelo sobre la evolución de la humedad edáfica en parcelas de olivar". En Giráldez Cervera, J.V., Jiménez Hornero, F.J., (eds.). *Estudios de la zona no saturada del suelo, Vol. VIII. Actas de las VIII Jornadas de Investigación de la Zona no Saturada del Suelo*, Córdoba, pp.333-339. Disponible en: http://www.zonanosaturada.com/publics/ZNS07/area_4/05.pdf [Consulta: 12/03/2013]
- MÁRQUEZ, F., ORDOÑEZ, R., GIL RIBES, J., GONZÁLEZ, E., & GÓMEZ, M. (2010). "Implantación de cubiertas vegetales en olivar como sistema de conservación y mejora del agua". En *Actas del Congreso de Agricultura de Conservación*, Madrid, 4-7 de octubre de 2010. MARM, pp. 545-554.
- MARSAL, J. (1997). "Water stress measurements in fruit trees under different regulated deficit irrigation regimes". Tesis doctoral. Dr. Girona i Gomis, J. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Universitat de Lleida.
- MARTÍNEZ ALIER, J. (1991). La pobreza como causa de la degradación ambiental: Un comentario al Informe Brundtland. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 18: 55-73.
- MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A., & CONCEPCIÓN RAMOS, M. (2009). Soil alteration due to erosion, ploughing and levelling of vineyards in north east Spain. *Soil Use and Management*, 25(2): 183-192.
- MARTÍNEZ CASASNOVAS, J.A., RAMOS, M.C., & COTS-FOLCH, R. (2010). Influence of the EU CAP on terrain morphology and vineyard cultivation in the Priorat region of NE Spain. *Land Use Policy*, 27(1): 11-21.

- MARTÍNEZ MURILLO, J.F., LÓPEZ VICENTE, M., POESEN, J., & RUIZ SINOGA, J.D. (2011). Modelling the effects of land use changes on runoff and soil erosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain). *Landform Analysis*, 17: 99-104.
- MAZZONCINI, M., SAPKOTA, T.B., BÀRBERI, P., ANTICHI, D., & RISALITI, R. (2011). Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, 114(2): 165-174.
- MCLENAGHEN, R.D., CAMERON, K.C., LAMPKIN, N.H., DALY, M.L., & DEO, B. (1996). Nitrate leaching from ploughed pasture and the effectiveness of winter catch crops in reducing leaching losses. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39(3): 413-420.
- MCNEILL, J.R., & WINIWARTER, V. (2004). Breaking the sod: Humankind, history, and soil. *Science*, 304(5677): 1627-1629.
- MECO, R., LACASTA, C., & MORENO, M. (coords.) (2011). *Agricultura ecológica en secano. Soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos*. Mundi-Prensa, Madrid. 495 p.
- MELGAR, J.C., MOHAMED, Y., NAVARRO, C., PARRA, M.A., BENLLOCH, M., & FERNÁNDEZ ESCOBAR, R. (2008). Long-term growth and yield responses of olive trees to different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 95(8): 968-972.
- MELGAR, J.C., MOHAMED, Y., SERRANO, N., GARCÍA GALAVÍS, P.A., NAVARRO, C., PARRA, M. A., ... & FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. (2009). Long term responses of olive trees to salinity. *Agricultural Water Management*, 96(7): 1105-1113.
- MERRITT, S.Z. (1996). Within-plant variation in concentrations of amino acids, sugar, and sinigrin in phloem sap of black mustard, *Brassica nigra* (L.) Koch (Cruciferae). *Journal of chemical ecology*, 22(6): 1133-1145.
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente) (2005). *Perfil Ambiental*. Disponible en: <http://www.mma.es/portal/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/perfil_ambiental_2005/> [Consulta: 16/12/2012]
- MMA (Ministerio de Medio Ambiente) (2007). *Impacto ambiental de la actividad humana. Aguas superficiales. Informe Resumen de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua*. Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Disponible en: <<http://www.chguadalquivir.es/export/sites/default/portalchg/planHidrologicoDemarcacion/demarcacionGuadalquivir/participacionPublica/consultaPublica/ficheros/demguadalquivir2.pdf>> [Consulta: 17/12/2012]
- MOREIRA, J.M. (1991). *Capacidad de uso y erosión de suelos*. Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla. 446 p.
- MORENO, B., GARCIA RODRIGUEZ, S., CAÑIZARES, R., CASTRO, J., & BENÍTEZ, E. (2009). Rainfed olive farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil management on biological indicators of soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(3): 333-339.
- MORENO, F., ARRÚE, J.L., CANTERO MARTÍNEZ, C., LÓPEZ, M.V., MURILLO, J.M., SOMBRERO, A., ... & ÁLVARO FUENTES, J. (2011). Conservation agriculture under Mediterranean conditions in Spain. En Lichtfouse E. (ed.). *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*. Springer Netherlands. pp. 175-193.. Disponible en: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-9513-8_6> [Consulta: 11/01/2013]

- MORENO, F., FERNÁNDEZ, J.E., CLOTHIER, B.E., & GREEN, S.R. (1996). Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant and soil*, 184(1): 85-96.
- MORIANA, A., ORGAZ, F., PASTOR, M., & FERERES, E. (2003). Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3): 425-431.
- MUDARRA, I., & ALONSO, A.M. (2006). "Desarrollo de la producción ecológica en áreas de montaña". En VII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Zaragoza, 18-23 de septiembre, Formato CD: Doc. 7.
- MUÑOZ-COBO, M.P. (1999). El agua y la erosión, parámetros determinantes del futuro del olivar. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 808: 928-929.
- MUÑOZ-COBO, M.P., MOYA, J.J.H., HIDALGO, J.C., & MOYA, V.V.M. (2005). *Riego de olivar con cantidades deficitarias de agua*. Junta de Andalucía, Córdoba, 15 p. Disponible en: <http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/riego_%20cantidades_deficitarias.pdf> [Consulta 04/04/2013]
- NAEEM, S. (1998). Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology*, 12(1): 39-45.
- NAREDO, J.M. (1983). La crisis del olivar como cultivo "biológico" tradicional. *Agricultura y Sociedad*, 26: 167-288.
- NAREDO, J.M. (2006). *Raíces económicas del deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas*. Siglo XXI, Madrid. 271 p.
- NAVARRO, C., & PARRA, M.A. (2008). Capítulo 7: Plantación. En D. Barranco, R. Fernández-Escobar & Rallo, L. (eds.). *El cultivo del olivo*. Mundi-Prensa, Madrid. pp.189-238.
- NENTWIG, W. (1998). Weedy plant species and their beneficial arthropods: potential for manipulation in field crops. En Pickett CH and Bugg RL (eds.). *Enhancing Biological Control: Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests*. University of California Press, Berkeley, California. pp. 49–71.
- NIETO O.M., CASTRO J., & FERNÁNDEZ ONDOÑO, E. (2012). Sustainable agricultural practices for Mediterranean olive groves. The effect of soil management on soil properties. *Spanish Journal of Soil Science*, 2 (1): 70-77.
- NIETO, O. M., CASTRO, J., & FERNÁNDEZ ONDOÑO, E. (2013). Conventional tillage versus cover crops in relation to carbon fixation in Mediterranean olive cultivation. *Plant and Soil*, 365(1); 321-335.
- NORTES, P.A. (2008). "Respuesta Agronómica y Fisiológica del Almendro al Riego Deficitario. Indicadores de Estrés Hídrico". Tesis doctoral. Dr. Domingo, R., & Pérez, A. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena.
- NOY-MEIR, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual review of ecology and systematics*, 4: 25-51.
- O'BRIEN, E. (1998). Water-energy dynamics, climate, and prediction of woody plant species richness: an interim general model. *Journal of Biogeography*, 25(2): 379-398.
- OKUR, N., ALTINDIŞLI, A., ÇENGEL, M., GÖÇMEZ, S., & KAYIKÇIOĞLU, H. H. (2009). Microbial biomass and enzyme activity in vineyard soils under organic and conventional farming systems. *Turk. J. Agric. For.*, 33: 413-423.

- OLIVIER, C., VAUGHN, S.F., MIZUBUTI, E.S., & LORIA, R. (1999). Variation in allyl isothiocyanate production within Brassica species and correlation with fungicidal activity. *Journal of Chemical Ecology*, 25(12): 2687-2701.
- PAJARÓN, M., SORIANO, M., & HURTADO, L. (1996). "El manejo de cubiertas vegetales en el olivar ecológico". En *II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Pamplona, 25-28 de septiembre de 1996.
- PAJARÓN SOTOMAYOR, M. (2007). *El olivar ecológico. Aprender a observar el olivar y comprender sus procesos vivos para cuidarlo*. La Fertilidad de la Tierra Ediciones, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Navarra.
- PARRAS, M., VEGA, M., & GUTIÉRREZ, M. (2011). El sobreprecio del aceite de oliva ecológico frente al del convencional a nivel minorista, como factor explicativo de su escasa cuota de ventas en España. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 229: 145-160
- PASTOR, J., LACASTA, C., & HERNÁNDEZ, A. J. (2000). Evaluación de las cubiertas vegetales en el olivar de una zona semiárida del centro de España. *Edafología*, 7(2): 165-175.
- PASTOR, J., PRIETO, N., & HERNÁNDEZ, A. J. (2002). "Los pastos de la Alcarria y sus principales características edáficas". En *XLII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Producción de pastos, forrajes y céspedes*, Lleida, 6-10 de mayo de 2002.
- PASTOR, M. (1989). Influencia de las malas hierbas sobre la evolución del contenido de agua en el suelo en olivar de secano. *Olivae*, 28: 32-37.
- PASTOR, M., & CASTRO, J. (1991). "Estudio del momento óptimo de siega química con glifosato de una cubierta viva de cereal en el cultivo del olivar en secano". En *Actas de la Reunión 1991 de la Sociedad Española de Malherbología*, Córdoba, 11-12 de diciembre de 1991, pp. 191-197.
- PASTOR, M., CASTRO, J., HUMANES, M.D., & MUÑOZ, J. (2001). Sistemas de manejo del suelo en olivar de Andalucía. *Edafología*, 8(1): 75-98.
- PASTOR, M., CASTRO, J., HUMANES, M.D., & SAAVEDRA, M. (1997). *La erosión y el olivar: cultivo con cubierta vegetal*. Comunicación I+D Agroalimentaria 22/97. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla. 24 p.
- PDR (2009). Programa de Desarrollo Rural de Andalucía 2007-2013. Junta de Andalucía. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/PDR_v.3_APROBADO_xPDRAndalucia_080220_3x.pdf [Consultada: 20/12/2012]
- PEREGRINA, F., LARRIETA, C., IBÁÑEZ, S., & GARCÍA ESCUDERO, E. (2010). Labile organic matter, aggregates, and stratification ratios in a semiarid vineyard with cover crops. *Soil Science Society of America Journal*, 74(6): 2120-2130.
- PEREGRINA, F., PÉREZ ÁLVAREZ, E. P., COLINA, M., & GARCÍA ESCUDERO, E. (2012). Cover crops and tillage influence soil organic matter and nitrogen availability in a semi-arid vineyard. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(sup1): SS95-SS102.
- PÉREZ, F.J., & ORMENOÑÚÑEZ, J. (1991). Difference in hydroxamic acid content in roots and root exudates of wheat (*Triticum aestivum* L.) and rye (*Secale cereale* L.): Possible role in allelopathy. *Journal of Chemical Ecology*, 17(6): 1037-1043.

- PIETERS, A.J. (1927). *Green manuring: principles and practice*. John Wiley & Sons, Inc., NY. Disponible en Web: < <http://sustainablefarmer.net/pdflibrary/library-greenmanuring.pdf>> [Consulta: 02/01/2013]
- POTTER, M.J., DAVIES, K., & RATHJEN, A.J. (1998). Suppressive impact of glucosinolates in Brassica vegetative tissues on root lesion nematode *Pratylenchus neglectus*. *Journal of Chemical Ecology*, 24(1): 67-80.
- PUERTO, A., & RICO, M. (1989). Influence of tree canopy (*Quercus rotundifolia* Lam.) on content in surface soil water in Mediterranean grasslands. *Ekologia (CSSR)*, 8(3): 225-238.
- PUIG, M.H. (1979). *Factores que afectan la respiración y la capacidad fijadora de nitrógeno de suelos con paja incorporada*. INIA, Ministerio de Agricultura, España. 246 p.
- PUJADAS-SALVÁ, A. (1986). "Flora arvense y ruderal de la provincia de Córdoba". Tesis Doctoral. Dr. Hernández, E. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- PUTNAM, A.R., & DEFRANK, J. (1983). Use of phytotoxic plant residues for selective weed control. *Crop Protection*, 2(2): 173-181.
- QUESADA MORAGA, E., CAMPOS ARANDA, M., & SANTIAGO ÁLVAREZ, C., (2009). Capítulo 7: Control de plagas. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 276-330.
- RALLO, L. (1986). *En torno al olivar: El lugar de la tecnología en la historia y en la crisis de un cultivo milenario. Lección inaugural*. Universidad de Córdoba. Disponible en: <http://www.uco.es/organizacion/secretaria_general/protocolo/documentos/memorias-cursos/1986-1987/leccion-magistral.pdf> [Consulta 01/04/2013]
- RAMOS, A.F., & SANTOS, F.L. (2009). Water use, transpiration, and crop coefficients for olives (cv. Cordovil), grown in orchards in Southern Portugal. *Biosystems engineering*, 102(3): 321-333.
- RAMOS, M.E., ALTIERI, M.A., GARCIA, P.A., & ROBLES, A.B. (2011a). Oat and Oat-Vetch as Rainfed Fodder-Cover Crops in Semiarid Environments: Effects of Fertilization and Harvest Time on Forage Yield and Quality. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(7): 726-744.
- RAMOS, M.E., BENÍTEZ, E., GARCÍA, P.A., & ROBLES, A.B. (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 44(1): 6-14.
- RAMOS, M.E., ROBLES, A.B., SÁNCHEZ-NAVARRO, A., & GONZÁLEZ REBOLLAR, J.L. (2011b). Soil responses to different management practices in rainfed orchards in semiarid environments. *Soil and Tillage Research*, 112(1): 85-91.
- RANA, G., KATERJI, N., INTRONA, M., & HAMMAMI, A. (2004). Microclimate and plant water relationship of the "overhead" table grape vineyard managed with three different covering techniques. *Scientia Horticulturae*, 102(1): 105-120.
- REDOLFI, I., TINAUT, A., & PASCUAL, F. (2004). Densidad de nidos de la comunidad de hormigas (Formicidae) en tres olivares con diferente manejo agronómico en Granada, España. *Ecología aplicada*, 3(1-2): 73-81.
- REGNAULT ROGER, C., PHILOGÈNE, B.J.R., & VINCENT, CH. (2004). *Biopesticidas de origen vegetal*. Mundi-Prensa, Madrid. 337 p.

- REMMERS, G.G.A. (2000). Capítulo 9: Revalorizando recursos agroecológicos: La “Moruna” (*Vicia articulata* Hornem.), Abono verde y leguminosa forrajera tradicional. En Guzmán Casado, G. I., González de Molina Navarro, M., & Sevilla Guzmán, E. *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 281-297.
- REPULLO-RUIBÉRRIZ DE TORRES, M.A., CARBONELL-BOJOLLO, R., ALCÁNTARA BRAÑA, C., RODRÍGUEZ LIZANA, A., & ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ, R. (2012). Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under mediterranean climate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3): 649-661.
- RIES, J.B. (2010). Methodologies for soil erosion and land degradation assessment in mediterranean-type ecosystems. *Land Degradation & Development*, 21(2): 171-187.
- RODRÍGUEZ ENTRENA, M., BARREIRO HURLÉ, J., GÓMEZ LIMÓN, J.A., ESPINOSA GODED, M., & CASTRO RODRÍGUEZ, J. (2012). Evaluating the demand for carbon sequestration in olive grove soils as a strategy toward mitigating climate change. *Journal of environmental management*, 112: 368-376.
- RODRÍGUEZ LIZANA, A., ESPEJO PÉREZ, A.J., GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, P., & ORDÓÑEZ FERNÁNDEZ, R. (2008). Pruning residues as an alternative to tradicional tillage to reduce erosion and pollutant dispersión in olive groves. *Water, Air, Soil Pollut*, 193(1-4): 165-173.
- ROSENZWEIG, M.L., & ABRAMSKY, Z. (1993). Capítulo 5: How are diversity and productivity related. En Ricklefs, R. E., & Schluter, D. *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. University of Chicago Press. pp. 52-65.
- ROY, P., NEI, D., ORIKASA, T., XU, Q., OKADOME, H., NAKAMURA, N., & SHIINA, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1-10.
- RUIZ, M.J. (1998). “Efectos secundarios de plaguicidas sobre la entomofauna del olivar”. En *Actas II Jornadas Mediterráneas de Olivar Ecológico, Ecoliva '97*, Tomo II.
- RUIZ COLMENERO, M., BIENES, R., & MARQUES, M.J. (2011). Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil and Tillage Research*, 117: 211-223.
- RUIZ COLMENERO, M., BIENES, R., ELDRIDGE, D.J., & MARQUES, M.J. (2013). Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. *Catena*, 104: 153-160.
- RUIZ SÁNCHEZ, M.C., DOMINGO MIGUEL, R., & CASTEL SÁNCHEZ, J.R. (2010). Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(S2): S5-S20.
- RUIZ SINOGA, J.D., GALEOTE, G., MARTÍNEZ MURILLO, J.F., & GARCIA MARÍN, R. (2011). Vegetation strategies for soil water consumption along a pluviometric gradient in southern Spain. *Catena*, 84(1): 12-20.
- RUIZ TORRES, M., & BUENO, M. (2001). Introducción al conocimiento de la entomofauna del olivar en la provincia de Jaén, 2: Aspectos cuantitativos. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 27: 531-560.
- SALA, O.E., LAUENROTH, W.K., & PARTON, W.J. (1992). Long-term soil water dynamics in the shortgrass steppe. *Ecology*, 73(4): 1175– 1181.

- SÁNCHEZ, J. (2004). Capítulo IV: La biodiversidad: un componente clave para la sostenibilidad de los agroecosistemas. En VV.AA. *Manual de Olivicultura Ecológica*. ISEC-Universidad de Córdoba, Córdoba. pp. 73-91.
- SÁNCHEZ J.L. (2003). *Evaluación de sustentabilidad de sistemas de manejo de olivares ecológicos y convencionales en los Pedroches*. Asociación Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, Sevilla.
- SÁNCHEZ, M., RODRÍGUEZ, V., SÁNCHEZ, F., DÍAZ, C., ARREBOLA, F.A., LÓPEZ, I., ... & VICARIO, V. (2011). *Manejo de Ganado Ovino en Olivar Adehesado*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 116 p.
- SÁNCHEZ MARTÍNEZ, J. D., GALLEGU SIMÓN, V. J., & ARAQUE JIMÉNEZ, E. (2011). El olivar andaluz y sus transformaciones recientes. *Estudios Geográficos*, 72(270): 203-229.
- SARWAR, M., KIRKEGAARD, J. A., WONG, P.T.W., & DESMARCHELIER, J. (1998). Biofumigation potential of brassicas. *Plant and Soil*, 201(1): 103-112.
- SERRANO, M.C. (2001). "Evaluación de la sostenibilidad del manejo ecológico, integrado y convencional del olivar en la Comarca de Iznalloz (Granada)". Trabajo Profesional de Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Córdoba.
- SEVILLA, E. (2006a). *De la Sociología Rural a la Agroecología*. Icaria, Barcelona. 255 p.
- SEVILLA, E. (2006b). *Perspectivas agroecológicas del Instituto de Sociología y Estudios campesinos: desde el pensamiento social agrario*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba. 285 p.
- SEVILLA GUZMÁN, E. (2002). A perspectiva sociológica em Agroecologia: uma sistematização de seus métodos e técnicas. *Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável*, 3(1): 18-27.
- SINGH, J.S., & COLEMAN, D.C. (1974). Distribution of photoassimilated ¹⁴C in the root system of a shortgrass prairie. *The Journal of Ecology*, 62: 359–365.
- SINGH, J.S., MILCHUNAS, D.G., & LAUENROTH, W.K. (1998). Soil water dynamics and vegetation patterns in a semiarid grassland. *Plant Ecology*, 134(1): 77-89.
- SMIL, V. (2001). *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*. The MIT Press, Cambridge. 338 p. Disponible en: <books.google.com> [Consulta: 02/01/2013]
- SPEDDING, C.R.W., (1988). *An Introduction to Agricultural Systems*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- TADMOR, N.H., COHEN, O.P., & SHANAN, L. (1967). "Moisture use of pasture plants in a desert environment". En: *Proc. 10 th International Grassland Congress*, Helsinki, pp. 897-906.
- TAGUAS, E.V., YUAN, Y., BINGNER, R.L., & GÓMEZ, J.A. (2012). Modeling the contribution of ephemeral gully erosion under different soil managements: A case study in an olive orchard microcatchment using the AnnAGNPS model. *Catena*, 98: 1-16.
- TEASDALE, J.R., & DAUGHTRY, C.S. (1993). Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). *Weed science*, 41(2): 207-212.
- TERRADAS, J. (1987). *Ecología d'avui* (5ª ed.). Teide, Barcelona. 197 p.
- TERRADAS, J. (2001). *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega, Barcelona. 703 p.

- TESTI, L., ORGAZ, F., ARGÜELLES, A., & CIFUENTES, V.J. (2009) Capítulo 2: Riego. En Gómez J.A. (coord. Ed.). *Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. pp. 21-44.
- TILMAN, D., REICH, P.B., KNOPS, J., WEDIN, D., MIELKE, T., & LEHMAN, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294(5543): 843-845.
- TOLÓN BECERRA, A., BOTTA, G.F., LASTRA-BRAVO, X., TOURN, M., & RIVERO, D. (2012). Subsoil compaction from tractor traffic in an olive (*Olea europea* L.) grove in Almería, Spain. *Soil Use and Management*, 28(4): 606-613.
- TRAPERO, A., ROCA, L.F., MORAL, J., TRAPERO, C., & LÓPEZ-ESCUADERO, F.J. (2011). Capítulo 7: Las enfermedades y su manejo en el olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 203-250.
- UNCCD (2007). *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación*, Madrid 10-12 de septiembre de 2007. Disponible en: <www.unccd.int> [Consulta: 5/01/2013]
- UNGER, P.W., STEWART, B.A., PARR, J.F., & SINGH, R.P. (1991). Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil and Tillage Research*, 20(2): 219-240.
- UNITED NATIONS (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. United Nations Documents. Disponible en: <http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf> [Consulta 16/12/2012]
- VAN HUYSSTEEN, L., VAN ZYL, L., & KOEN, A.P. (1984). The effect of cover crop management on soil conditions and weed control in a Colombar vineyard in Oudsthoorn. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 5: 7-17.
- VAN WESEMAEL, B., RAMBAUD, X., POESEN, J., MULIGAN, M., CAMMERAAT, E., & STEVENS, A. (2006). Spatial patterns of land degradation and their impacts on the water balance of rainfed treecrops: A case study in South East Spain. *Geoderma*, 133(1): 43-56.
- VANWALLEGHEM, T., AMATE, J.I., DE MOLINA, M.G., FERNÁNDEZ, D.S., & GÓMEZ, J.A. (2011). Quantifying the effect of historical soil management on soil erosion rates in Mediterranean olive orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3): 341-351.
- VARELA, J.Y.G.R. (1999). Estudio sobre la entomofauna de un olivar en la provincia de Granada, durante el período de vuelo de la generación antófaga de *Prays oleae* Bern. (Lep., Yponomeutidae). *Phytoma España*, 111: 42-55.
- VEGA, M., PARRAS, M., TORRES, F.J., & MURGADO, E. (2011a). Los factores impulsores e inhibidores del consumo de alimentos ecológicos en España. El caso del aceite de oliva. *Interciencia*, 3: 178-184.
- VEGA, M., TORRES, F.J., MURGADO, E., GUTIÉRREZ, M., & PARRAS, M. (2011b). Capítulo 13: La demanda y promoción del aceite de oliva ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. p. 419.
- VILA, H., PEÑA, J.P., & CAVAGNARO, J.B. (2009). Evitación del estrés en la vid: Estrategias varietales frente al déficit hídrico. *INTA EEA Mendoza. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Cuyo, Argentina*. 13 p.

- VILLALOBOS, F.J., ORGAZ, F., TESTI, L., & FERERES, E. (2000). Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy*, 13(2): 155-163.
- VILLARRUBIA, V.G., GONZÁLEZ, P.G., & TORRES, J.T. (2006). *Aceitenos y pesticidas: ¿un ataque furtivo al aceite de oliva saludable? Implicaciones en cáncer. Asma y la hipótesis inmunológica de la higiene.* Disponible en Internet: <www.bioaveda.com/bioaveda/foro/aolivapesticidas.pdf> [Consulta: 20/12/2012]
- VIRTO, I., IMAZ, M.J., FERNÁNDEZ-UGALDE, O., URRUTIA, I., ENRIQUE, A., & BESCANSÀ, P. (2012). Soil quality evaluation following the implementation of permanent cover crops in semi-arid vineyards. Organic matter, physical and biological soil properties. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(4): 1121-1132.
- WEST, T.O., & POST, W.M., (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 1930–1946.
- WHITTAKER, R.H. (1965). Dominance and diversity in land plant communities. *Science*, 147: 250-260.
- WICKRAMASINGHE, L.P., HARRIS, S., JONES, G., VAUGHAN, N., 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology* 40: 984–993.
- WILLER, H., & KILCHER, L. (2011). *Organic agricultural land use by country (fully converted and converted) 2004-2010. The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2010.* IFOAM: FiBL: Frick, Bonn. Disponible en: <<http://www.organic-world.net/statistics-data-tables-excel.html?&L=0>> [Consultada el día 2/11/2012]
- WILLER, H., & KILCHER, L. (2012a). *Organic Agriculture Worldwide: Key results from the survey on organic agriculture worldwide 2012. Part 1: Global data and survey background. The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2010.* IFOAM: FiBL: Frick, Bonn. In Disponible en: <<http://www.organic-world.net/yearbook-2012-presentations.html>> [Consulta: 2/11/2012]
- WILLER, H., & KILCHER, L. (2012b). *Key results from the survey on organic agriculture worldwide 2012. Part 2: land use and crop data. The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2010.* IFOAM: FiBL: Frick, Bonn. Disponible en: <<http://www.organic-world.net/yearbook-2012.html>> [Consulta: 2/11/2012]
- WILLER, H., & KILCHER, L. (2012c). *Key results from the survey on organic agriculture worldwide 2012. [en línea] Part 3: Organic agriculture in the regions 2010. The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2010.* IFOAM, Bonn: FiBL: Frick, Bonn. Disponible en: <<http://www.organic-world.net/yearbook-2012-presentations.html?&L=0>> [Consulta: 2/11/2012]
- YACHI, S., & LOREAU, M. (1999). Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(4): 1463-1468.
- YAN, F., LIANG, X., & ZHU, X. (1999). The role of DIMBOA on the feeding of Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lep., Pyralidae). *Journal of Applied Entomology*, 123(1): 49-53.

- ZASADA, I.A., & FERRIS, H. (2004). Nematode suppression with brassicaceous amendments: application based upon glucosinolate profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(7): 1017-1024.
- ZORNOZA, R., MATAIX SOLERA, J., GUERRERO, C., ARCENEGUI, V., & MATAIX BENEYTO, J. (2009). Comparison of soil physical, chemical, and biochemical properties among native forest, maintained and abandoned almond orchards in mountainous areas of Eastern Spain. *Arid Land Research and Management*, 23(4): 267-282.
- ZUAZO, V.H.D., & PLEGUEZUELO, C.R.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1): 65-86.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

El propósito de este estudio es avanzar en las opciones de manejo de las cubiertas vegetales como alternativa al suelo desnudo en olivares ecológicos, lo que a su vez debe repercutir en una mejora ambiental y económica. Mantener la cubierta vegetal sobre el suelo ya sea compuesta por vegetación espontánea o bien por una leguminosa sembrada entre calles como la veza, es la forma más sencilla y efectiva para mejorar y conservar la calidad del suelo y del agua. El modo en que se controla la cubierta, bien con cultivador o bien con desbrozado, se plantea también como una mejora frente a las labores profundas habituales en el olivar como es el gradeo. El beneficio económico que supone utilizar esta técnica en el olivar se basa en la disminución de costes por la reducción del número de pases de labranza en relación al laboreo tradicional, la reducción del abonado nitrogenado que es necesario aportar desde fuentes externas a la parcela, la reducción en el uso de fitosanitarios, o el aprovechamiento de la cubierta como alimento para el ganado, entre otras actividades económicas (producción de semilla, criptocultivos, etc.). Tanto el tipo de cubierta como el apero/s utilizados para su control, afecta de forma distinta a las propiedades físico-químicas del suelo, a su balance hídrico o a la composición florística.

Para proporcionar información primaria que permita profundizar en el conocimiento de la dinámica del suelo y la cubierta en el olivar en función del manejo, es necesario establecer los impactos de la implantación de la cubierta y su control sobre la flora adventicia, sobre la reserva de agua en el suelo, sobre la fertilidad y calidad del suelo, sobre la biomasa producida y su capacidad de cubrir el suelo, así como su valor nutritivo y fertilizante, y por último, sobre el rendimiento del cultivo. De este modo, el objetivo general es generar la información necesaria para validar las siguientes hipótesis:

- Las técnicas culturales son en gran medida responsables de la tipología de las comunidades vegetales establecidas como cubierta.
- El análisis de la flora a nivel funcional permite determinar si ocurre un cambio de flora deseable a nivel de los procesos agroecosistémicos básicos del olivar.
- Las cubiertas vegetales sembradas mejoran el contenido de agua en el suelo a través de los seis años de estudio al inicio del periodo de desecación.
- La siembra de leguminosas como cubierta implica un incremento del valor nutritivo del pasto y de su valor fertilizante, así como de la fertilidad general del suelo y la mejora de su estructura.
- Las cubiertas sembradas cubren mejor el suelo por una mayor producción de biomasa, lo que a su vez no afecta al rendimiento del olivo.

Por otro lado, los objetivos específicos se plantean en cada uno de los capítulos centrales de este estudio.

SEGUNDA PARTE: ESTUDIO DE CASO

LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL OLIVAR DE ENSAYO. DISEÑO EXPERIMENTAL

LOCALIZACIÓN Y RELIEVE

El presente ensayo se ha desarrollado durante seis años (2003-2009) en el municipio granadino de Deifontes. Éste limita al norte con Iznalloz, ambos en las estribaciones de Sierra Arana (Anexo 0 y Fotos 0.1-0.2). Pertenece a la comarca de los Montes Orientales, integrada en la alineación Subbética de las Cordilleras Béticas. Deifontes se encuentra en la margen izquierda del río Cubillas, en el límite entre los Montes Orientales y la Vega Granadina. La altura sobre el nivel del mar del núcleo urbano es de 737 metros; el municipio ocupa una extensión de 40 km², y dista 24 km al nordeste de Granada. El río Cubillas atraviesa de noreste a sureste el municipio, y vierte finalmente sus aguas al Genil. Esta zona se caracteriza por estar formada por una amplia solana, que desciende de norte a sur en escalones, en la que alternan macizos montañosos y algunas planicies. El término de Deifontes se caracteriza por presentar una geografía accidentada, característica de la zona. El 58% de la superficie del término tiene una pendiente del 3-7%, mientras que el 18,3% está entre el 7 y el 15%, y un 19% entre 15-45%.

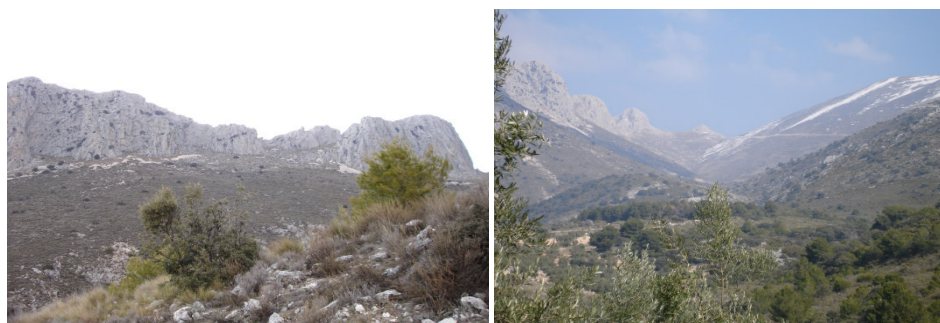


Foto 0.1 y 0.2: Vistas de Sierra Arana desde el olivar de estudio

CLIMA

Las altas temperaturas en verano y las escasas precipitaciones, definen la rigurosidad del clima, especialmente para los cultivos en secano. En el invierno suceden las precipitaciones más abundantes y se dan las temperaturas más bajas (Tabla 0.1). En verano suceden las mínimas precipitaciones, y las temperaturas fácilmente superan los 40°C. La disparidad entre un verano muy seco y un invierno irregularmente lluvioso se unen a un régimen térmico continental, con inviernos largos y fríos con heladas frecuentes que se extienden desde octubre a mayo, y veranos muy secos y calientes, con nubosidad nula y gran evaporación.

Tabla 0.1. Datos climáticos medios de Deifontes (CAP, 2001).

Altitud	Precipitación	Tª máx. (°C)	Tª mín. (°C)	Tª media (°C)
737	511,1	40,6	-5°C	15,7

El estudio de la vegetación herbácea del olivar y su manejo requiere conocer los parámetros climáticos tales como precipitaciones, temperatura o velocidad del viento en los años de

ensayo. Gracias a los datos históricos acumulados en la Estación Meteorológica de Iznalloz se puede construir la Tabla 0.2., en relación a las principales variables registradas por años y en distintos periodos de interés, para una mejor interpretación del desarrollo y evolución tanto de la vegetación de las cubiertas vegetales como del olivar. En este sentido, el segundo año de ensayo, a pesar de que la temperatura media en invierno es de 5,75°C, la temperatura media de las mínimas está en torno a 0°C. De este modo, durante el invierno de 2004, las heladas causaron una pérdida de 1/3 del volumen de las copas de los olivos, por lo que el rendimiento de la plantación se vio afectado (Fotos 0.3 y 0.4).



Foto 0.3 y 0.4:
Aspecto de los
árboles
afectados por
las heladas y la
nieve en la
parcela de
estudio (2003-
2004)

Tabla 0.2. Datos climáticos registrados para la zona de estudio durante la serie de seis años de experimentación en campo de 2003 a 2009. Precipitación (mm); Temperatura (°C).

	'03-'04	'04-'05	'05-'06	'06-'07	'07-'08	'08-'09
Precipitación anual	707,4	176,2	481,6	427,2	513,4	760,2
Precipitación de septiembre al 1 ^{er} corte	700,8	157,4	429,4	344,6	432,6	738
Precipitación de enero al 1 ^{er} corte	393,8	53,8	271,6	144,8	278,8	405,2
Precipitación de marzo al 1 ^{er} corte	194,4	9,4	45	47,4	163,4	49,8
Precipitación entre 1 ^{er} y 2 ^o corte	0	11,8	26	82,6	66	9,4
Temperatura media otoño	11,22	11,81	11	12,39	11,4	9,55
Temperatura media invierno	8,11	5,75	6,08	7,99	8,18	6,87
Temperatura media primavera	14,17	22,8	17,47	14,28	14,63	16,06
Otoño-invierno seco		x		x	x	
Otoño-invierno húmedo	x					x
Primavera seca		x	x	x		x
Primavera húmeda	x				x	
Marzos secos		x		x	x	
Otoño-invierno cálido	x			x	x	
Otoño-invierno frío			x			x
Primavera cálida			x		x	x
Primavera fría				x		

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Estación Meteorológica de Iznalloz (CAP, 2003-2009)

HIDROLOGÍA

Deifontes pertenece al acuífero del borde norte de la Depresión de Granada, cuenta con una superficie permeable de 280 Km² y sus entradas se realizan exclusivamente por el agua de lluvia. La entrada de agua se estima en una media de 82 m³/año, de los cuales, el 13,4% son

extraídos mediante sistemas de bombeo, el 24,4% se filtran hacia otros acuíferos, y el 62,2% salen por emergencias naturales. El 40% de la precipitación anual se produce en invierno, seguido por los meses de primavera, que reciben el 30%; el resto se reparten en otoño y en tormentas de verano. De junio a septiembre el déficit hídrico está asegurado, y es principalmente en los meses de invierno y primavera cuando se produce la recarga de los acuíferos. Las aguas de esta zona se caracterizan por la aparición de ciertos focos de contaminación, por lo que es necesario desarrollar programas preventivos para evitar el deterioro de los acuíferos, altamente valiosos y vulnerables. La calidad de esta agua, salvo excepciones, es buena y apta para el consumo humano. Poseen una salinidad media de 0,7 gramos por litro, con facies bicarbonatada cálcica o cálcico-magnésica. La red fluvial es efímera y se encuentra definida por numerosos arroyos o barrancos, donde la escorrentía se incrementa de forma notable en épocas de lluvias. Lo ríos más importantes son el Velillos y el Cubillas, que vierten sus aguas a la Depresión de Granada. La zona está considerada como de alto riesgo de contaminación de acuíferos por la cercanía de las aguas subterráneas y los cursos fluviales. La existencia de cuevas y manantiales y la presencia del acuífero de Sierra Arana, formado por calizas y dolomías del Jurásico de alta permeabilidad, nos da idea de las peculiaridades hidrogeológicas del lugar.

EDAFOLOGÍA

Según la clasificación de la FAO, los tipos de suelos más importantes de Deifontes son Regosol calcáreo, Litosol y Cambisol cálcico. La zona del estudio se encuentra en un Cambisol cálcico asociado frecuentemente a Regosol, en los que predomina el primero. Aparece soportando una vegetación natural de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*) o coscoja (*Quercus coccifera*), u ocupado por cultivos. Son suelos fértiles y más eficientes para el cultivo que los Regosoles. Los Cambisoles están relacionados con materiales calcáreos asociados a los periodos del terciario y cuaternario. Estos suelos suelen estar dedicados al cultivo de los cereales y del olivar, y su profundidad oscila entre 0,4-1 metro. Alcanzan un contenido de materia orgánica entre el 2 y el 3%, siempre que no hayan estado sometidos a constantes laboreos. Son suelos que presentan generalmente tres horizontes, el más superficial, suele ser de color ocre por liberación de hierro, y el inmediatamente inferior, en suelos laboreados intensamente desde épocas antiguas, puede ser difícil de diferenciar. Por debajo de este horizonte aparece con frecuencia un horizonte de acumulación de carbonato cálcico en forma de nódulos calizos, que pueden llegar a formar un petrocálcico o costra caliza. La mineralización de la materia orgánica es menor que en los Regosoles y la concentración de carbonato cálcico es elevada, manteniéndose casi constante a lo largo del perfil. Presentan abundantes elementos gruesos, sobre todo si la costra caliza ha sido incorporada al perfil mediante laboreo. Su contenido en arcilla no es muy elevado, con una textura arcillo-arenosa o limo-arenosa principalmente. Suelen ser suelos alcalinos con valores de pH próximos a 8. En cualquier caso, los Cambisoles cálcicos asociados a Regosoles calcáreos, son suelos poco evolucionados con dos horizontes únicamente. En esta zona, la roca sobre la que se han desarrollado estos suelos son margas calizas o calizas margosas. Son suelos escasamente desarrollados, con un contenido en carbonato cálcico superior al 50%. La profundidad del suelo es escasa en el primer horizonte y raramente sobrepasa los 30 cm. El contenido de materia orgánica no suele llegar al 2% y ésta se mineraliza fácilmente. La textura es arcillosa o limo-arcillosa.

La biogeografía de la zona determina el tipo de vegetación potencial, y la acción humana en gran medida la vegetación actual. Esta localización se inscribe en el piso mesomediterráneo seco de la provincia corológica de la Bética. La comunidad climática se correspondería a un encinar perteneciente a la asociación *Paeonio coriaceae-Querceto rotundifoliae*, en altitudes que van de los 700 a los 1400 metros, sobre suelos ricos en bases. Sin embargo, la fuerte acción antrópica ha empobrecido y relegado estos bosques a pequeñas zonas, encontrándose actualmente casi toda su área potencial ocupada por cultivos como los cereales y el olivo. La causa de la desaparición de casi la totalidad del paisaje original se debe a la intensa roturación de la segunda mitad del S. XX y al pastoreo abusivo. Lo esencial del paisaje es el matorral y el monte bajo (Fotos 0.5 y 0.6), normalmente se trata de etapas seriales como cornicabrales, retamales, coscojales, espartales, romerales, etc. Las encinas estarían acompañadas por otro estrato constituido por árboles y arbustos de menor porte, como quejigos, cornicabras y otros arbustos caducifolios, en zonas con cierta disponibilidad de agua en verano. O bien, majuelos, rosas, coscojas, carrasquillas o espinos negros, en las zonas más aclaradas. Por otro lado, en las zonas de transición entre los cultivos y las áreas menos degradadas en laderas sometidas al pastoreo, aparecen retamas, hiniestas o aulagas. En las estribaciones de Sierra Arana, concretamente en la zona de la “Atalaya” la vegetación que se presenta en las laderas abruptas que lindan con el olivar de ensayo, es propia de suelos erosionados, con frecuentes afloramientos de roca madre. Se encuentra ampliamente representada la comunidad de romerales-aulagares con matorral heliófilo incluido en la asociación *Thymo-orospedani-Cistetum clusii*, con especies como el romero, tomillo, mejorana, jarillas, aulagas y alhucemas, que son valiosas para la apicultura y por su uso medicinal. El nivel de degradación superior al romeral es el tomillar, apareciendo sobre litosoles muy pobres. Está constituido por caméfitos que no superan los 30 cm de altura, destacando el tomillo y las jarillas, y con escasa cobertura. En suelos de mediana potencia y con poca cobertura aparecen pastizales de hemicriptófitos de la asociación *Phlomido-Brachipodietum retusi*, donde dominan la yesquera (*Brachipodium retusum*), matagallos (*Phlomis lychnitis*) o tréboles (*Trifolium stellatum*). En los claros de las formaciones anteriores, toma posesión del terreno la alianza *Thero-Brachypodion*, incluida en la asociación *Medicago-Aegilopetum geniculatae*, con prados de poco valor nutritivo y poco aprovechables como pasto. Se componen de especies anuales que evolucionan rápidamente a otros más ricos debido a la nitrificación por pastoreo, predominando especies como *Poa bulbosa*, *Medicago minima*, *Medicago rigidula*, *Bromus rubens*, *Trifolium scabrum*, *Aegilops geniculata*, *Trifolium stellatum*, *Trifolium tomentosum*, *Trifolium campestre*, etc. Es interesante nombrar un pastizal terofítico fugaz, que aunque aparece de forma puntual, tiene un gran valor ecológico. Con una fenología de inicio de primavera destaca *Clypeola jonthlaspi*, *Arabis parvula*, *Minuartia hybrida*, *Arenaria serpyllifolia*, *Vicia lutea*, etc.

En los agroecosistemas anuales y arbóreos se pueden localizar especies como: conejo (*Oryctogalus cuniculus*), estornino negro (*Sturnus vulgaris*), Paloma zurita (*Columba oenas*), lechuza (*Tyto alba*), gorrión (*Passer domesticus*) y jilguero (*Carduelis carduelis*). Por último, los matorrales, chaparrales de la zona de Sierra Arana incluida en el municipio de Deifontes, albergan especies características como: urraca (*Pica pica*), cuervo (*Corvus corax*), perdiz común, (*Alectoris rufa*), Abubilla (*Upupa epops*), etc.



Fotos 0.5 y 0.6: En algunos puntos se ha potenciado la reforestación con coníferas y en menor cantidad frondosas de ribera. La desaparición de la vegetación natural ha llevado a la disminución de la riqueza faunística.

POBLACIÓN

Mientras en el conjunto de los Montes Orientales la población ha aumentado a lo largo de la primera mitad del siglo XX para posteriormente descender, en el caso del municipio de Deifontes la caída demográfica no ha sido tan importante. Del año 1993 a 2011 se produce un aumento de la población de un 25 %, siendo ésta de 2.567 habitantes en 2011. El peso demográfico del municipio respecto al total comarcal ha subido constantemente a lo largo del siglo. La población inmigrante representa menos de un 5%, y es mayoritariamente de origen rumano y americano. La tasa de envejecimiento de Deifontes es más alta que la media andaluza y nacional. Junto a este envejecimiento similar al de la media comarcal, Deifontes presenta una proporcional ausencia de jóvenes. El paro, es en 2011 uno de los más altos de la comarca de los Montes, en torno a un 16%. En cuanto a la actividad económica, se ha experimentado un importante desarrollo agrario, especialmente oleícola. También cuentan con la denominación de origen protegida “Montes de Granada”. De este modo, la agricultura ocupa al 69% de la población activa y a un 48% de las empresas del municipio.

AGRICULTURA Y GANADERÍA

El olivar destinado a la producción de aceite ocupa el 81% de la SAU del municipio en 2009, y el resto de leñosos (frutales, frutos secos, olivar mesa y uva pasa) no llegan al 1%. Por otro lado, la tierra de labor ocupa el 13%. En cuanto al tamaño de las explotaciones, más del 71,6% tienen una superficie menor a 5 hectáreas, un 15% entre 5 y 10 hectáreas, y tan solo el 1,6% tiene más de 50 hectáreas. Aunque los cultivos herbáceos disminuyeron en superficie, en beneficio de los leñosos hasta 2003, debido a las ayudas a la producción de aceite de oliva, esta tendencia se invierte hasta 2011. Los cultivos herbáceos de la zona son tanto cereales (trigo, cebada y avena), forrajeras como la alfalfa, hortícolas en regadío, cultivos industriales (maíz y girasol), leguminosas (garbanzo y lenteja), así como tubérculos como la patata. De la superficie total de tierras cultivadas el 73% lo explotan los propietarios y el 27,3% está en régimen de arrendamiento. El 77% de las explotaciones tienen titulares mayores de 45 años, y una buena parte tiene una segunda ocupación, la mayoría de ellos principal (IEA, 2009).

Esta zona se caracteriza por practicar una olivicultura intensiva sobre lomas de suave pendiente y suelos calizos poco profundos. Abundan los olivares a dos y tres pies, aunque cada vez son más las explotaciones intensivas a un solo pie. Es destacable el aumento del cultivo del

olivo en regadío en la última década del siglo pasado, gran parte del cual proviene de la instalación de riegos en plantaciones de secano. En el año 2000, más de la mitad del olivar del término ya era de regadío. De 1999 a 2009 la superficie ocupada por olivar de almazara se ha reducido en un 9,3% (IEA, 1999-2009). La variedad predominante es la Picual, que representa el 95,36% de la superficie, muy por detrás se sitúa el arbequino, el nevadillo negro y el hojiblanco. La actividad ganadera de Deifontes es minoritaria, y está representada por 9 explotaciones ganaderas (14 U.G bovino, 4,7 U.G ovino, 42,6 U.G caprino, 8,8 U.G equino, porcino, aves y conejos). Existe una ganadería autóctona representada principalmente por ganado caprino de la raza granadina-murciana y de oveja de raza montesina (esta última protegida como raza en peligro de extinción). Por otro lado, el cerdo ibérico desapareció totalmente de la comarca al igual que ciertas razas de gallinas. Se debe considerar la importancia de la ganadería y su desarrollo desde el punto de vista socioeconómico en la comarca puesto que las explotaciones se encuentran en las zonas más desfavorecidas, lo cual contribuye a fijar en el territorio a parte de la población, a diversificar las actividades agrarias de la zona y posibilita el aprovechamiento de subproductos de otras actividades agrícolas, como las rastrojeras (IDES, 2003).

CARACTERIZACIÓN Y ANTECEDENTES DE LA PARCELA

El olivar donde se realiza el ensayo está situado en unas lomas de pendiente media en el pago de “la Atalaya”, en el término municipal de Deifontes. La finca se encuentra a unos 800 metros de altitud y tiene una superficie total de 4,3 hectáreas (Anexo 0). La pendiente dentro de la finca es de entre el 3 y el 15% en la zona más llana, y superior al 25% en la más inclinada. La parcela linda al norte con la vegetación natural, que está compuesta por matorral y monte bajo (Foto 0.7). Esta situación permite la entrada constante de liebres, conejos y jabalíes así como de especies vegetales silvestres. Las lindes están todas vegetadas, el 60% del perímetro está compuesto por al menos, dos de estos elementos: árboles, arbustos, piedras y arvenses (Foto 0.8). Esto asegura refugio y alimento a la fauna cuando se eliminan las cubiertas. La parcela linda a lo largo con un olivar convencional a un lado, y al otro, con un olivar integrado.



Foto 0.7:
superficie ocupada
por las parcelas de
ensayo (entre
líneas rojas) vista
hacia el Sur. Foto
0.8: detalle de las
lindes vegetadas
del olivar de
ensayo a final de
mayo.

Anteriormente, esta finca servía de pastura natural para el ganado, y hace 20 años se cultivaba cereal de secano, que se sustituyó por el actual sistema de olivar. Los olivos son de la variedad Picual (c.v Picual) y se plantaron en la campaña 1992-1993. La parcela está certificada en producción ecológica desde el inicio de la plantación. Se trata de un olivar semi-intensivo, ya que a pesar de estar formado a un pie, y a un marco inferior que el de los olivares

tradicionales, presenta una densidad de árboles por debajo de los 200 olivos/ha. El marco de plantación es de 8 x 8 metros y la densidad de olivos aproximada de 160 árboles/ha formados a un pie. Este olivar se beneficia del sistema de riego por goteo de abril a octubre. En esta plantación no se produce integración con el ganado en ningún momento del año.

El suelo de la parcela es un calcisol poco profundo que presenta a unos 25-40 centímetros de profundidad un horizonte pétrico, lo que hace que tenga una baja capacidad de almacenar agua y que predominen los flujos horizontales de agua frente a los verticales (Foto 0.9). Sin embargo, este horizonte de baja permeabilidad no se extiende uniformemente por toda la superficie. Por otro lado, aunque el olivar es de regadío, la reserva de agua en las calles es similar a la de un seco, y así lo muestra la vegetación de la cubierta, diferenciándose de la flora que aparece bajo la copa del olivo, propia de lugares más húmedos (Foto 0.10). Es sabido que los árboles aumentan la capacidad de almacenar agua en relación a las zonas abiertas de pasto (Joffre & Rambal, 1993), modificando la composición florística (Terradas, 2001).



Foto 0.9: Detalle de un trozo de horizonte petrocálcico. Foto 0.10: Diferencias entre la vegetación bajo copa (huertas o frutales) y entre calles flora típica de frutales de seco.

Antes de iniciar el ensayo, la primera semana de noviembre de 2003, se realiza un análisis físico-químico del suelo para conocer su situación de partida (Tabla 0.3).

Tabla 0.3. Propiedades físico-químicas del suelo antes del inicio del ensayo en otoño de 2003.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Carbonatos (%)	44,53	Textura limo (%)	40,35
Materia orgánica oxidable	2,71	Clasificación	Fr
CIC (meq/100g)	14,78	Sodio de cambio	0,32
pH 1 / 2.5	7,86	Magnesio cambio	1,09
Potasio de cambio	0,56	Caliza activa (%)	12,2
Nitrógeno total (%)	0,19	Fósforo asimilable (ppm)	16,33
Textura arcilla (%)	22,16	Potasio asimilable (ppm)	208,33
Textura arena (%)	37,47		

El suelo de textura franca con un 22% de arcilla, es adecuado para el cultivo del olivo, con más del 2% de materia orgánica en los primeros 20 cm al inicio del ensayo. Se trata de un suelo muy calizo y alcalino (pH: 8-8,5). A simple vista se aprecia un nivel de materia orgánica superior en el suelo bajo la copa de los olivos que en las calles. El coeficiente de intercambio catiónico es medio-bajo, y el contenido de potasio de cambio es bajo también. Por otro lado, el contenido de nitrógeno total y de fósforo y potasio asimilable es normal.

Antes del ensayo, el suelo se manejaba con cubierta espontánea, alternando algún año la siembra de veza. Se controlaba la cubierta con una grada de discos 2-3 veces al año, en función de las precipitaciones, junto a un pase de rastra en agosto. Durante el ensayo, las únicas diferencias respecto al manejo anterior son la instalación de cubiertas sembradas y los aperos usados para el control. La hierba de los ruedos se elimina unas cuatro veces con desbrozadora manual; sin embargo, alguna vez se hizo con mulilla mecánica para enterrar enmiendas orgánicas. La fertilización se hace en el ruedo de forma manual con una carretilla (estiércol y compost) o bien con cuba y pistola (vinaza), al inicio de la primavera, y en algún caso en otoño. Tradicionalmente han utilizado estiércol o compost de alpeorajo, aunque no todos los años se aplicaban. La Tabla 0.4 recoge el calendario de labores durante el ensayo, cuando también se aplicó abono mineral, estiércol de oveja ensacado, y ceniza de restos de poda.

En cuanto a tratamientos fitosanitarios, sólo se emplean compuestos permitidos de cobre frente a repilo. Los dos últimos años de estudio, no se realizó ningún tratamiento aéreo ni para fertilizar ni para tratar ninguna plaga o enfermedad. Los únicos problemas que ha presentado la finca durante estos años han sido la aparición de verrugas de tuberculosis en algunos olivos a raíz de tener algunos manzanillos infectados a partir de los cuales la enfermedad se propagó. Los manzanillos se arrancaron, y se destinó un tiempo durante la poda, a limpiar las ramas de verrugas o a cortar las más infectadas sellando posteriormente la herida con un compuesto cúprico permitido. Con esta estrategia, tras tres años logró reducir la infestación hasta niveles bajos que en cualquier caso no afectarían a la producción. Otros problemas con los que se han encontrado los agricultores en las parcelas de ensayo están relacionados con el control de malezas en el olivar, ya que se dio una rápida dispersión y colonización de algunas zonas del olivar por parte de la cañota (*Sorghum halepense*) debido al laboreo en las parcelas de ensayo, preferentemente en el ruedo del olivo. La manera en cómo se ha conseguido erradicarla casi totalmente ha consistido en perseguirlas todas las primaveras arrancándolas. Por otro lado, para que los conejos no rompan las gomas de riego se les pone agua en un recipiente. Los jabalíes se limitan a arar los ruedos bajo los olivos buscando raíces o gusanos para alimentarse.

La poda se realiza en el mes de febrero-marzo con motosierra, serrucho y tijeras, mientras que el desvareto se lleva a cabo preferentemente en junio a mano, y a principios de septiembre con azadilla y tijeras. La leña gruesa se recoge a mano con la ayuda de un remolque, a la vez que se junta el ramón en el centro de la calle para que lo pique la desbrozadora. El método de recolección es el vareo manual, ayudándose con vibradores de ramas. La recolección se realiza en el mes de noviembre-diciembre y la aceituna se transporta en remolque pequeño (500 kg) hasta la almazara en Benalúa de las Villas. Los años en que hay mucha aceituna en el suelo, se ha recogido con rastrillo directamente del ruedo. Quince días antes de la recolección se desbrozan los ruedos de los olivos con una desbrozadora de hilo. En cuanto al riego, se inicia a finales del mes de marzo con los riegos correspondientes a las dos últimas semanas del mes. A partir del mes de abril y hasta octubre se realiza un riego semanal de 16 horas (4 goteros/olivo*4l/h); se dan unos 30 riegos de 256 litros por árbol. El agua de riego proviene de una balsa comunitaria que almacena el agua que se bombea desde el nacimiento del río. Otra tarea que se lleva a cabo todos los años es la recogida de las piedras más grandes que salen a la superficie, esta labor se realiza a mano con la ayuda de un coche y un remolque. Cuando se realizó la plantación, los propietarios recogieron la piedra en superficie de la parcela para optimizar el manejo del suelo. Se sacaron unos 20 remolques grandes llenos de piedras.

Tabla 0.4. Calendario de labores realizadas en el olivar de estudio durante el ensayo de 2003 a 2009.

	APEROS/TIPO LABOR	TTO.	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
SIEMBRA CUBIERTAS	A voleo	VI-VS	5/11/03 Veza+Cebada	10/11/04 Veza+Cebada	11/10/05 Veza VI- VS 26/04/06 ½Veza-VS	16/10/06 Veza VI-½ Veza VS 21/06/07 ½ Veza VS	20/09/07 Veza VI- VS	5/09/08 Veza VI 23/09/08 Veza VS
ENTERRADO DE LA SEMILLA	Tractor+Rastra	VI	5/11/03	10/11/04	11/10/05	16/10/06	20/09/07	5/09/08
ELIMINACIÓN DE LA CUBIERTA	Trac.+Desbrozadora	VS	29/05/04 (VI-D-VS)	18/04/05 (MANUAL)	29/04/06 30/07/06	25/04/07 22/06/07	24/04/08 16/06/08	28/04/09 11/06/09
CALLES	Trac.+Cultivador	VI-D	12/02/04 D 9/06/04 VI-D+Rastra	20/04/05 4/06/05+Rastra	30/04/06 30/07/06+Rastra	26/04/07 30/06/07+Rastra	26/04/08 20/06/08+Rastra	29/04/09 13/06/09 Rastra
RUEDO	Desbrozadora de hilo	VI-D-VS	ABRIL-MAYO-JUN- JULIO-SEPT	ABRIL-JUNIO- JULIO-AGOSTO	ABRIL-JUNIO- JULIO-AGOSTO	ABRIL-JUNIO- JULIO-SEPT	MAYO-JUNIO- JULIO-SEPT	MAYO-JULIO-SEPT- NOV
OTROS SUELO	Rastra	D	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO	AGOSTO
FERTILIZACIÓN SUELO	Tractor+cuba con pistola Remolque Carretilla	VI-D-VS	COMPOST OVEJA (50.000 kg/ha)+VINAZA DE REMOLACHA (6L/olivo)+CENIZA (0,7kg/olivo)	VINAZA DE REMOLACHA (12L/olivo)+ CENIZA (0,7kg/olivo)	COMPOST ALPEORUJO (20 kg/olivo)+VINAZA DE REMOLACHA (7L/olivo)+CENIZA (0,7kg/olivo)	VINAZA DE REMOLACHA (15L/olivo) +CENIZA (0,7kg/olivo)	ESTIÉRCOL DE CABALLO+OVEJA (35kg/olivo)+ NATURGAN (1kg/olivo)+CENIZA (0,7kg/olivo)	COMPOST OVEJA (2kg/olivo)+ ALPEORUJO (20kg/olivo)+CE- NIZA(0,7kg/olivo)
TTO. FOLIAR	Tractor+cuba con pistola	VI-D-VS	Cu, S, K y a.a	Cu, S, K y a.a				
PODA	Serrucho, motosierra y tijera	VI-D-VS	FEBR-MARZO	FEBR-MARZO	FEBR-MARZO	FEBR-MARZO	FEBR-MARZO	FEBR-MARZO
PICADO RESTOS DE PODA	Desbrozadora	VI-D-VS	ABRIL	ABRIL	ABRIL	ABRIL	ABRIL	ABRIL
DESVARETO	Manual o azadilla	VI-D-VS	JULIO Y OCTUBRE	AGOSTO-SEPT	JULIO-SEPT	JUNIO-AGOSTO	AGOSTO-SEPT	JUNIO-AGOSTO
CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	Tractor+Cuba y pistola (Sellado de heridas de tuberculosis)	VI-D-VS	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
RIEGO	Goteo-semanal	VI-D-VS	ABRIL A OCTUB	ABRIL A OCTUB	ABRIL A OCTUB	ABRIL A OCTUB	ABRIL A OCTUB	ABRIL A OCTUB
RECOLECCIÓN	Vareo manual + Vibrador de rama	VI-D-VS	DIC-ENERO	DIC-ENERO	NOV-DIC	NOV-DIC	DICIEMBRE	ENERO

TTO.: Tratamiento ensayado. VI: Cubierta sembrada de veza e incorporada en superficie con cultivador; D: Cubierta espontánea incorporada en superficie con cultivador; VS: cubierta sembrada de veza y controlada con desbrozadora de martillos.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Durante seis años (2003-2009), se evalúan los efectos que distintos manejos del suelo tienen sobre aspectos clave en el funcionamiento del olivar. El ensayo se planifica sobre un principio agroecológico básico, la mejora de las propiedades físico-químicas, microbiológicas y nutricionales del suelo a través del mantenimiento de cubiertas vegetales, y de la reducción de la intensidad, profundidad y frecuencia de las labores del suelo. Finalmente, se decide experimentar comparando cubiertas sembradas frente a cubiertas naturales, y con dos manejos del suelo, el laboreo superficial y el desbrozado.

En primer lugar, se escogen las especies a sembrar, y como especie principal se opta por una leguminosa, por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Se decide sembrar veza (*Vicia sativa*), por ser una leguminosa ampliamente utilizada como abono verde y cubierta vegetal tanto en cultivos anuales como arbóreos; asimismo, se cultiva en varios municipios de la comarca, y el propio agricultor la ha usado como cubierta, así que su manejo es conocido. La semilla resulta fácil de encontrar y a un precio asequible. Sin embargo, no todos los años se pudo conseguir semilla certificada de veza ecológica. La veza es una planta anual, de ciclo invernal, que produce un forraje rico en proteínas. Es poco exigente en abonado, pero requiere un suelo bien preparado para su cultivo. Para contrarrestar su tendencia a postrarse y equilibrar el forraje, se suele asociar con una gramínea, principalmente un cereal de invierno. La mezcla leguminosa-cereal es muy apreciada, por su valor forrajero y como abono verde, por su relación C/N y por la calidad de los residuos para el control de la erosión. Para acompañar a la veza, se escoge la cebada (*Hordeum vulgare*), que se cultiva ampliamente en la zona. La siembra de esta mezcla, se realiza durante los tres primeros años. Sin embargo, debido a la baja nascencia de la cebada y la presencia de una gran abundancia de gramíneas silvestres, que cumplen la misma función, se elimina de la mezcla el cuarto año de ensayo (Tabla 0.5). También se sopesó la posibilidad de sembrar avena, pero su persistencia de un año a otro es mayor que la cebada (Foraster, 2004). Ambas gramíneas se han utilizado en estudios sobre cubiertas vegetales en cultivos leñosos y para el control de la erosión.

La superficie de olivar destinada al ensayo es de 1,5 hectáreas divididas en 12 parcelas elementales de 1.024 m², junto a las correspondientes líneas guarda (Anexo 0). Se establecen cuatro repeticiones de cada uno de estos tres tratamientos: VI (manejo con siembra de cubierta vegetal anual de veza con posterior incorporación mediante cultivador) D (manejo sin siembra y control mecánico de la vegetación espontánea mediante cultivador) y VS (manejo con siembra de cubierta vegetal anual de veza, y desbrozado dejando los residuos en superficie). El diseño experimental en bloques completamente aleatorizado, responde a la forma rectangular y estrecha de la finca y su relieve. De este modo, en cada bloque se encuentran representados cada uno de los tratamientos, salvando así, la variabilidad debida a la pendiente u orientación, de manera que las diferencias observadas sean fundamentalmente debidas a los tratamientos (Anexo 0).

En cuanto a la elección del manejo del suelo para el control de las cubiertas, el principio básico es alterar el suelo lo mínimo posible, para evitar su erosión y pérdida de fertilidad. Así pues se evalúa el desbrozado y el laboreo superficial, y se descartan otros más intensivos como el gradeo. Conservar la estructura vertical del suelo es prioritario, por lo que se escoge para el

control de la cubierta un cultivador que ahonda apenas 10 cm (Foto 0.11); además es el apero más utilizado en los olivares de secano de la comarca. Para la siembra de cubiertas de veza en el tratamiento VI se utiliza la rastra (Foto 0.12). En cuanto al desbrozado es necesario estudiar su conveniencia ya que su uso se extiende rápidamente, debido a las limitaciones que la condicionalidad a las buenas prácticas agrícolas suponen al laboreo del suelo en fincas con pendientes mayores al 15%, a la vez que resulta una labor muy cómoda. Se escoge para el ensayo una desbrozadora de martillos con desplazamiento lateral (Foto 0.13). La altura de corte en las parcelas desbrozadas está en torno a los 3 centímetros, y en cualquier caso, se debe evitar que los martillos golpeen el suelo. La ventaja de este apero es que permite picar los restos de poda a la vez que se elimina la cubierta (Foto 0.14).



Foto 0.11 (Arriba izq.): Incorporación superficial de la cubierta con cultivador.

Foto: 0.12 (Arriba dcha.): Rastreo de las cubiertas labradas.



Foto 0.13 (Abajo izq.): Eliminación de la cubierta con desbrozadora de martillos.

Foto 0.14 (Abajo dcha.): Detalle del picado de ramón en las cubiertas segadas.

La óptima implantación de la cubierta sembrada depende de varios factores (fecha y profundidad de siembra, precipitaciones, etc.). El tratamiento VS, consistente en sembrar cubierta de veza y desbrozarla, no contempla el movimiento del suelo en ningún momento y evita que las piedras afloren a la superficie. En este tratamiento tras la siembra de la semilla, ésta no se entierra (Fotos 0.15 y 0.16). Por otro lado, la cubierta sembrada y cultivada sí permite el pase de la rastra tras la siembra, dándose unas mejores condiciones para la germinación (Fotos 0.17 y 0.18). Para conseguir una cubierta rica en esta leguminosa es necesario enterrar la semilla de veza tras la siembra unos 2 cm (Pajarón *et al.*, 1996). Para lograr la buena implantación de la cubierta se deben aprovechar las primeras lluvias de otoño. En el caso de no poder enterrar la semilla, es importante sembrar en un periodo de lluvias abundantes que permita mantener la humedad en el suelo el tiempo suficiente para que la semilla germine y “agarre” y no se seque, a la vez que las hormigas no tienen tiempo de recolectarlas. En el caso de poder enterrar la semilla con un pase de rastra o de cultivador, la siembra puede hacerse antes de las primeras lluvias de septiembre ya que queda protegida de los depredadores. Cuando se rastrea el suelo demasiado tarde con el objetivo de enterrar la

semilla, se daña la cubierta que de forma natural está emergiendo, lo que va en contra de un óptimo establecimiento de las arvenses.



Foto 0.15 (Arriba izq.): Detalle de la mezcla para la siembra, veza+cebada.

Foto 0.16 (Arriba dcha.): Siembra manual a voleo en otoño.



Foto 0.17 (Abajo izq.): rastreo para la siembra de semilla de veza+cebada.

Foto 0.18 (Abajo dcha.): Rastreo tras la incorporación de la cubierta.

Tabla 0.5. Calendario y aspectos técnicos relacionados con la labor de siembra de cubiertas vegetales ensayadas de 2003 a 2009.

AÑO	TTO.	ENTERRADO	ESPECIE 1	ESPECIE 2	SIEMBRA OTOÑO	SIEMBRA PRIMAVERA	DOSIS SP 1 OTOÑO	DOSIS SP 1 PRIMAVERA	DOSIS SP 2	APERO
2003-2004	VI	RASTRA	<i>Vicia sativa</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	05/11/2003		195		49	A voleo
	VS	NO								
2004-2005	VI	RASTRA	<i>Vicia sativa</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	10/11/2004		195		49	A voleo
	VS	NO								
2005-2006	VI	RASTRA	<i>Vicia sativa</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	11/10/2005		195		49	A voleo
	VS	NO				26/04/2006		97,5		
2006-2007	VI	CULTIVADOR	<i>Vicia sativa</i>		01/10/2006		97,5			A voleo
	VS	NO			16/10/2006	13/06/2007	97,5	97,5		A voleo
2007-2008	VI	RASTRA	<i>Vicia sativa</i>		20/09/2007		195			A voleo
	VS	NO					97,5			A voleo
2008-2009	VI	RASTRA	<i>Vicia sativa</i>		05/09/2008		195			A voleo
	VS	NO			23/09/2008		195			A voleo

TTO.: Tratamiento. VI: cubierta de veza labrada; VS: cubierta de veza desbrozada). La dosis de siembra está expresada en Kg/Ha

Durante el ensayo se han ido incorporando variaciones en el manejo de las cubiertas a petición de los propios agricultores, o por decisión técnica debido a las particularidades climáticas de

cada año (Tabla 0.5). La propuesta de los olivereros fue la de sembrar parte de la veza en primavera para lograr un mejor establecimiento de la misma en las cubiertas desbrozadas, enterrándola bajo los restos vegetales de la cubierta que tras la siega en primavera quedan en superficie. En cuanto a las variaciones debidas a las condiciones dispares de pluviometría, destacan el primer año por ser extremadamente lluvioso, obligando a retrasar el control de las cubiertas sembradas hasta el mes de mayo, o bien la sequía extrema del segundo año, que obligó a desbrozar la cubierta manualmente por la escasa altura de la misma. Asimismo, el último año de estudio, las escasas precipitaciones entre el primer y el segundo control y la consiguiente baja cobertura, permitió eliminar las cubiertas labradas únicamente con la rastra en vez de con el cultivador. Durante el estudio, quedó evidenciado el hecho que, cuando la cubierta toma una altura considerable, el cultivador no es el apero más adecuado para su control, dificultando en extremo la labor, que en consecuencia se encarece. La alternativa sería adelantar el control de las cubiertas o bien pasar la desbrozadora antes de la labor de incorporación con el cultivador, tal como sucede en junio del primer año (Tabla 0.4) en el tratamiento D y VI debido a la alta producción de biomasa.

Se escoge la fecha de control de la cubierta, por un lado, en base al momento de máxima floración de la especie más abundante (la veza), y en relación a los resultados obtenidos por estudios previos que determinan la fecha de eliminación de las cubiertas en el mes de marzo en Córdoba (Pastor *et al.*, 2000). Ya que el olivar de estudio se encuentra en una zona más tardía, suponemos que, la fecha de control puede retrasarse hasta el mes de abril. El segundo control se realiza aproximadamente 2 meses después, en junio o julio.

Hay que decir que se esperaba que a raíz de laborear el terreno para el ensayo durante todo este tiempo, aparecieran sobre la superficie una cantidad de piedras tal, que hiciese falta un despedregado, pero no ha sido así. La labor anual de retirar aquellas piedras más grandes a mano, pero sobre todo, el tratarse de un laboreo que no ha superado nunca los 10 centímetros de profundidad, garantizan, en este tipo de suelo, que no haga falta un despedregado como el que se llevó a cabo antes de iniciar el ensayo con vistas a segar toda la superficie, en esa tarea se recogió 1,5 remolques grandes llenos de piedras, labor muy pesada que provoca la compactación del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

CAP (2001). *Caracterización del territorio de la OCA 'Montes Orientales' (Sede Iznalloz)*. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/export/sites/default/comun/galerias/galeriaDescargas/cap/servicio-estadisticas/Caracterizacion-comarcal/Caracterizacion-de-comarcas-agrarias/Granada/montes_orientales.pdf> [Consulta: 13/11/2007]

IDES (Instituto de Desarrollo Local y Estudios Sociales) (2003). Estudio Socioeconómico. En *Plan de desarrollo del municipio de Deifontes*. IDES, Granada.

IEA (Instituto de Estadística de Andalucía) (1999-2009). Datos censales de la población de Deifontes. Disponible en:

<<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/iea/>>

[Consulta:

20/06/2005 y 17/05/2014]

JOFFRE, R., & RAMBAL, S. (1993). How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570-582.

TERRADAS, J. (2001). *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega, Barcelona. 703 p.

FORASTER, L. (2004). "Las cubiertas vegetales en el cultivo ecológico del olivo: evaluación de su impacto sobre el olivar y exploración de la integración del ganado ovino para su control". Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

PAJARÓN, M., SORIANO, M., & HURTADO, L. (1996). "El manejo de cubiertas vegetales en el olivar ecológico". En *II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Pamplona, 25-28 de septiembre de 1996.

PASTOR, J., LACASTA, C., & HERNÁNDEZ, A. J. (2000). Evaluación de las cubiertas vegetales en el olivar de una zona semiárida del centro de España. *Edafología*, 7(2): 165-175.

CAPÍTULO 1: EVOLUCIÓN DE LAS COMUNIDADES ARVENSES. DIVERSIDAD FUNCIONAL

Son muchos los beneficios que del olivar ecológico con cubierta vegetal obtiene la sociedad, ya sean servicios de aprovisionamiento, de regulación, o culturales. La diversidad provee de múltiples servicios generales, por ejemplo, la polinización, fertilidad de suelos, acumulación de carbono o regulación climática (MEA, 2005; UE, 2010); éstos están, a su vez, relacionados con procesos concretos del ecosistema como el reciclaje de nutrientes, la evapotranspiración, la biomasa producida, o el herbivorismo, entre otros. Al analizar la relación entre servicios, propiedades ecosistémicas y la diversidad de caracteres funcionales de las especies que forman la cubierta del olivar, se pone de relieve la importancia de las conexiones basadas en la dinámica biogeoquímica del ecosistema. Estas comunidades arvenses, suponen una parte importante de la diversidad vegetal del olivar, y promueven con celeridad la diversidad de otros grupos de organismos, aportando complejidad al sistema. Para estudiar las cubiertas a nivel funcional, una cuestión central que se plantea es cómo identificar, medir y evaluar la diversidad funcional.

La idea más extendida es que la composición funcional de una comunidad informa más sobre sus respuestas al ambiente y sus efectos sobre el ecosistema que la diversidad de especies por sí misma (Grime, 1998; Díaz & Cabido, 2001; Tilman, 2001; Hooper *et al.*, 2005; Hillebrand & Mathissen, 2009). No obstante, el análisis de la diversidad funcional se complementa perfectamente con el análisis clásico de composición, estructura, riqueza y diversidad florística, resultando útil este enfoque, para la comprensión de las relaciones entre biodiversidad, factores abióticos y procesos ecosistémicos. De este modo, se acumula información relacionada con el funcionamiento del olivar, y por consiguiente con los procesos que procuran equilibrio y estabilidad al ecosistema a largo plazo. La diversidad funcional se define como la abundancia, distribución, rango y valor de los caracteres funcionales de los organismos que constituyen un ecosistema (Díaz *et al.*, 2007a). Se distinguen tres componentes de la diversidad, siendo el más influyente sobre el ecosistema, el relativo a los atributos de las especies más abundantes (de Bello *et al.*, 2010). El concepto de diversidad funcional, permite caracterizar patrones comunitarios ante disturbios ambientales (Díaz *et al.*, 1999; Flynn *et al.*, 2009; Laliberté *et al.*, 2010), determinar su efecto sobre propiedades de los ecosistemas (Hooper & Vitousek, 1997 y 1998; Tilman *et al.*, 2001; Garnier *et al.*, 2004; Díaz *et al.*, 2007c; Hajjar *et al.*, 2008) y relacionar las comunidades biológicas con los servicios ecosistémicos (Quétier *et al.*, 2007a; Díaz *et al.*, 2007b, 2011; Lavorel *et al.*, 2011;). Dado que la diversidad taxonómica es enorme, reducirla a un número menor de tipos, cuyo comportamiento pueda ser parametrizado, permite relacionarlos con pautas del medio o usarlos en modelos de gestión de sistemas complejos. En el caso de los estudios de manejo es fundamental identificar grupos funcionales discretos (Casanoves *et al.*, 2011). En el estudio se evalúa la diversidad herbácea asociada al olivar, para discernir patrones de respuesta ante el disturbio que supone el control de las cubiertas, así como los efectos de su manejo sobre el funcionamiento del olivar. El potencial de las cubiertas vegetales como promotoras de diversidad y funcionalidad en el olivar, se antoja ilimitado y principal, en relación a maximizar los servicios encaminados a sostener el sistema a largo plazo.

OBJETIVOS

El objetivo general es proporcionar información primaria y secundaria que permita profundizar en el conocimiento de la dinámica y la funcionalidad de las arvenses en el olivar obedeciendo al manejo diferencial de la cubierta.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Analizar la evolución de los indicadores de composición y estructura florística y de biotipos.
- Analizar los caracteres funcionales clave para las especies más importantes e identificar los grupos funcionales presentes.
- Analizar la evolución de los indicadores de composición y estructura de grupos funcionales.
- Determinar si se produce inversión florística en las cubiertas en función del manejo.

Se parte de la hipótesis de que las técnicas culturales son en gran medida responsables de la tipología de las comunidades arvenses que se establecen como cubierta, y que a través del análisis de la diversidad funcional se pueden obtener tendencias e indicadores que indiquen si se da inversión florística y si ésta es deseable a nivel de los procesos del olivar.

METODOLOGÍA

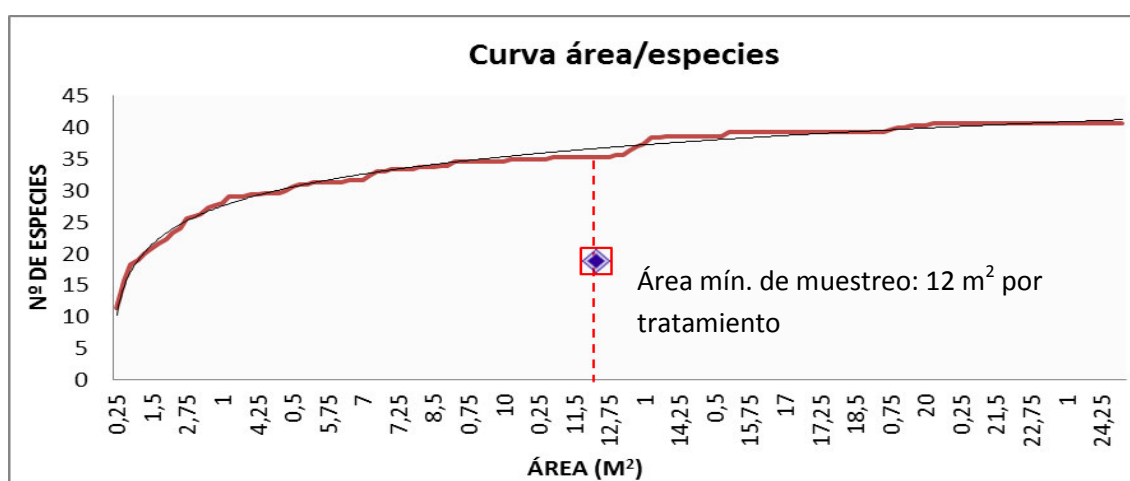
Para la identificación de especies se tomaron muestras todos los años, principalmente durante la primavera (Tabla 1.1). Las plantas se prensaron y secaron en el Departamento de Ciencias y Recursos Agrícolas y Forestales de la ETSIAM (UCO). Más tarde, se llevó a cabo su montaje para identificarlas en base a claves botánicas (Castroviejo, 1986-2001; Valdés *et al.*, 1987; Villarías, J.L., 1992; Bolòs *et al.* 1993; Carretero, 2004). Se muestrea la flora lanzando un marco metálico de 50x50 cm en doce ocasiones al azar en cada parcela elemental (Anexo 0). Antes de la primera eliminación de la cubierta vegetal (abril) se contabilizan los individuos de cada una de las especies presentes en cada lanzamiento. No obstante, el quinto y sexto año, también se muestrea la flora presente en el mes de junio, antes del segundo control de las cubiertas, ya que su presencia tiene importantes consecuencias en el balance hídrico del agroecosistema entrado el verano y sobre otros aspectos básicos de su funcionamiento. Para el conteo de gramíneas se procede contabilizando los individuos de las especies anuales y los tallos de las especies perennes (Firehun & Tamado, 2006).

Para tener una comprensión representativa de la comunidad, se toman muestras de tamaño superior a cierto mínimo, que se aproxima al punto en el que la curva área/especies se estabiliza (Figura 1.1). La Figura 1.1, verifica que la superficie muestreada de 48 m² (12 m² por tratamiento), nos aporta información de la mayoría de las especies que conforman esta comunidad. No se puede determinar el área mínima de muestreo de forma objetiva y determinante, dada la naturaleza logarítmica de la relación entre las variables, y de otros aspectos como los recursos para la investigación, o las condiciones climáticas interanuales.

Tabla 1.1. Calendario de muestreo de la flora de las cubiertas vegetales de 2004 a 2009.

Muestreo	Antes del 1er control de la cubierta	Antes del 2º control de la cubierta
1	1ª quincena de Mayo de 2004	
2	1ª quincena de abril de Abril de 2005	
3	2ª quincena de Abril de 2006	
4	1ª quincena de Abril de 2007	
5	Del 26 de Marzo al 16 de Abril de 2008	Junio-Julio 2008
6	Del 27 de Marzo al 17 de Abril de 2009	2ª quincena de Junio de 2009

Figura 1.1. Curva área/especies para la determinación del área mínima de muestreo.



Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento florístico de abril de 2005 en la cubierta espontánea.

La información que se desprende del recuento de arvenses sobre una superficie conocida, permite el cálculo de varias expresiones referidas a la composición (riqueza) y estructura (abundancia, frecuencia e índices de diversidad) de las cubiertas, y se pueden aplicar a varios de los niveles de análisis. Los indicadores utilizados se exponen en la Tabla 1.2, donde las columnas se corresponden con los niveles en los que se han aplicado.

Tabla 1.2. Indicadores usados para evaluar la composición y estructura florística y funcional.

	Familia	Género	Especie	Biotipo	Grupo funcional
Riqueza	x	x	x	x	x
Diversidad Shannon	x	x	x	x	x
Diversidad Máxima	x	x	x	x	x
Diversidad Simpson	x	x	x	x	x
Dominancia de Simpson	x	x	x	x	x
Equidad Pielou	x	x	x	x	x
Abundancia relativa	x		x	x	x
Frecuencia	x		x	x	x
Densidad	x		x	x	x

La Riqueza se define como el número de familias, géneros, especies, biotipos o grupos funcionales. A nivel familiar, la riqueza también se expresa como Nº GE y Nº SP, como el número medio de géneros o de especies registradas pertenecientes a cada familia botánica.

La Densidad es el número de individuos presentes por unidad de superficie. También puede referirse al número de individuos pertenecientes a un tipo concreto (biotipo, taxón o grupo funcional), y se expresa como DE (nº de individuos/ m²).

La Abundancia relativa expresa el porcentaje de especies o de individuos de la familia i entre todas las especies o individuos presentes.

ABi de una especie (p_i)= (nº de individuos de la especie i (n_i)/ nº de individuos totales (N))

ABi de una familia= (nº de individuos de la familia i/ nº de individuos totales)

ABe de las especies de una familia= (nº de especies de la familia i/nº de especies totales)

Este indicador también puede referirse a la abundancia de un biotipo o de un grupo funcional.

La Frecuencia relativa es el número de cuadros (0,25m²), o repeticiones, donde aparece el taxón, la especie, o biotipo o grupo funcional i entre el total de cuadros muestreados.

FR= (nº de cuadros donde aparece la especie i (J_i)/ total de cuadros muestreados (k)

La Frecuencia relativa familiar es la suma de las frecuencias relativas de las especies pertenecientes a la familia i, entre el número de especies de esa misma familia.

El Índice de diversidad de Shannon-Weber permite estimar la diversidad de especies (u otro de los tipos analizados), mediante la ecuación:

$H' = - \sum p_i \cdot \ln p_i$ donde p_i es la proporción de individuos de una especie (n_i) frente al número de individuos totales de las i especies (N)

El Índice de Simpson estima la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar en una comunidad infinita pertenezcan a la misma especie (u otro de los tipos analizados); se calcula a partir de la expresión 1-D, que asegura que el valor aumenta a medida que se incrementa la diversidad:

$$D = \sum p_i^2$$

La Diversidad máxima se desprende del Índice de Shannon, que es sensible al número de especies (S) (u otro de los tipos analizados), y se maximiza para un determinado número cuando éstas son equifrecuentes:

$$H'_{\text{máx.}} = \ln S$$

El Índice de Dominancia de Simpson expresado como D también nos da idea de la dominancia en una comunidad finita:

$$D = \sum ((n_i (n_i - 1)) / (N (N - 1)))$$

El Índice de Equidad de Pielou evalúa la uniformidad de la distribución de abundancias independientemente del número de especies (u otro de los tipos analizados), este índice toma valores de 0 a 1:

$$J = H' / H'_{\text{máx.}}$$

Todos los indicadores se calculan y evalúan anualmente, pero también en conjunto (2004-2009), así como su evolución en el tiempo para cada tratamiento antes del primer y segundo control de las cubiertas (abril y junio). Los tratamientos ensayados son: VI (cubierta de veza incorporada en superficie con cultivador); D (cubierta espontánea incorporada en superficie con cultivador) y VS (cubierta de veza desbrozada). Sin embargo, para el mes de junio, este análisis sólo se realiza los dos últimos años de ensayo, por lo que no se dispone de su evolución en el tiempo para esta fecha. La evolución de los indicadores de abundancia y frecuencia se estudia sólo para las especies y familias más importantes, omitiendo aquellas que no presentan repeticiones suficientes durante los seis años de estudio, para realizar un análisis estadístico fiable. Por otro lado, las especies más importantes son aquellas que, aparecen para cualquier año y tratamiento con una $AB_i \geq 1\%$ y una $FR \geq 50\%$. Además, estas especies aparecen al menos en el 75% de las repeticiones para cada tratamiento. El 30% de las especies que se registran de 2004 a 2009, cumplen con esta condición y en ellas se basa el grueso del análisis florístico.

El conteo de la especie sembrada *Vicia sativa*, está incluido en la familia de las leguminosas, tanto en los tratamientos en los que ésta se siembra y se elimina mediante desbrozado (VS), como en aquellos sembrados y labrados (VI). No obstante, se ha considerado otra familia, denominada “leguminosas silvestres”, por tal de no enmascarar la evolución de éstas, debido a la siembra de la veza. En cambio, la especie sembrada *Hordeum vulgare* no supone un peso tal, sobre el total de gramíneas, que haga necesario diferenciarlo de las gramíneas silvestres.

También se clasifican las especies registradas en función de su tipo biológico, en base a la clasificación de C. Raunkjaer de 1905, actualizada posteriormente por diversos autores, concretamente en la clasificación expuesta por Oriol de Bolòs en Pius Font i Quer (1979):

Terófito (T). Plantas que completan su ciclo vital en un tiempo inferior a un año. Durante la época desfavorable no conservan órganos vegetativos de ningún tipo, sólo semillas o esporas en estado de reposo. También se pueden dividir según su forma:

T. erecto (T.ER). Plantas con los tallos verticales como *Diplotaxis virgata* o *Avena sterilis*.

T. rastrero (T.RA). Plantas decumbentes o procumbentes como *Medicago sp.*, *Trifolium sp.*

T. escaposo (T.ES). Con tallo erecto y con hojas como *Chenopodium album*.

T. trepador (T.TR). Plantas volubles o con zarcillos como *Vicia sp.*, *Lathyrus sp.*

T. rosulado (T.RO). Hierbas con roseta basal y tallos floríferos sin hojas (*Erodium cicutarium*).

T. cespitoso (T.CE). Plantas que hacen césped, principalmente gramíneas como *Poa annua*.

Hemicriptófito (H). Hierbas vivaces en las cuales las yemas perdurantes se sitúan durante la época desfavorable a ras de la superficie del suelo, durante este periodo no hay tallos aéreos vivos, aunque pueden quedar hojas verdes.

H. cespitoso (H.CE). Estas plantas forman una gran cantidad de tallos cortos paralelos que cubren densamente el suelo. A menudo las yemas son protegidas durante la estación hostil por las hojas secas de la misma planta.

H. rosulado (H.RO). Plantas generalmente pequeñas, en las que todo el follaje asimilador se aglomera a ras del suelo en rosetas basales como *Crepis vesicaria* o *Leontodon longirostris*. Las plantas con roseta basal y hojas caulinares, se incluyen en el grupo siguiente.

H. escaposo (H.ES). Hierbas que durante el periodo favorable producen tallos aéreos con hojas, las cuales se secan cuando llega el tiempo hostil, de manera que sólo quedan en los órganos subterráneos, las yemas persistentes situadas a ras del suelo y, a veces, algunas hojas basales insertas a nivel de dichas yemas. Como por ejemplo *Lactuca serriola*.

H. rastreros (H.RA). Plantas que tienen tallos reptantes, estrictamente aplicados al suelo, los cuales a menudo, pueden ser considerados como estolones epígeos.

H. trepadores (H.TR). Plantas vivaces con tallos trepadores que se mueren cada año.

Geófitos (abrev. G). Vegetales que viven más de un año y que pasan la época desfavorable con las yemas persistentes enterradas dentro del suelo. Normalmente los geófitos tienen órganos subterráneos cargados de sustancias nutritivas de reserva como bulbos, tubérculos y rizomas que les permiten brotar con fuerza cuando llega el buen tiempo, aunque de momento, no tienen órganos verdes que les permitan hacer la fotosíntesis.

En el presente estudio, se han asimilado las formas escaposas a las erectas, y las especies se han clasificado en los siguientes espectros de formas vitales: Terófito cespitoso; Terófito erecto; Terófito rastrero; Terófito rosulado; Terófito trepador; Terófito/hemicriptófito cespitoso (T/H.C); Terófito/Hemicriptófito erecto (T/H.ER); Terófito/Hemicriptófito rastrero (T/H.RA); Terófito/Hemicriptófito rosulado (T/H.RO); Hemicriptófito/Geófito rastrero (H/G.RA); Hemicriptófito/Geófito rosulado (H/G.RO); Geófito.

Para complementar el análisis florístico y de biotipos, se identifican los tipos funcionales de plantas presentes en las distintas cubiertas. Esta forma de caracterizar la diversidad funcional, es la más generalizada. Se trata de grupos de especies que comparten respuestas ante factores ambientales o efectos similares sobre el funcionamiento de los ecosistemas, los cuales suelen expresarse en forma de valores similares de caracteres funcionales (Lavorel *et al.*, 1997; Díaz y Cabido, 2011). Los caracteres clave utilizados para el análisis funcional son de fácil medición a nivel individual, o bien se han consultado en la bibliografía (Tabla 1.4). Los rasgos a tener en cuenta son aquellos relacionados con los objetivos que se persiguen en cada estudio, relacionados a su vez con las funciones ecosistémicas básicas (Tabla 1.3) y con los principales servicios ecosistémicos generales (Anexo 1.G). Sin embargo, los servicios ecosistémicos generales no necesariamente tienen una relación de uno a uno con las propiedades del ecosistema (Costanza *et al.*, 1997; Díaz *et al.*, 2007a, 2007b).

Tabla 1.3. Códigos de las propiedades ecosistémicas relacionadas con los rasgos utilizados.

PROPIEDADES ECOSISTÉMICAS	CÓDIGO	PROPIEDADES ECOSISTÉMICAS	CÓDIGO
Capacidad de producir biomasa	A	Capacidad competitiva	I
Acumulación y captura de C	B	Defensa de la planta	J
Respuesta al CO ₂	C	Consumo por herbívoros	K
Reciclado de nutrientes	D	Consumo por insectos	L
Regulación del agua en el suelo	E	Tasa de descomposición de las hojas	M
Evapotranspiración	F	Capacidad de cubrir el suelo	N
Disponibilidad de agua y nutrientes	G	Efecto sobre el régimen del disturbio	Ñ
Pioneras o tolerantes a la sombra	H	Respuesta ante las perturbaciones	O

De entre todos los rasgos funcionales listados en un principio, se omiten más tarde aquellos que resultan redundantes o que añaden poca información al modelo. De los rasgos seleccionados finalmente (Tabla 1.4) la mayoría se han medido u observado en campo durante los levantamientos florísticos del mes de abril, o bien durante los muestreos de otras variables. Se registran los valores relativos a cada rasgo funcional únicamente para aquellas especies que aparecen para cualquier año y tratamiento con una $AB_i \geq 1\%$ y una $FR \geq 50\%$, al menos en el 50% de las repeticiones de cada tratamiento. El registro de las observaciones en campo permite asignar valores a algunos de los caracteres funcionales escogidos, mientras que otros se miden en campo el quinto año, a la vez que se realiza el levantamiento florístico del mes de abril. Para ello, se escogen al azar 8 individuos de cada una de las especies más importantes en cada uno de los tratamientos ensayados (Cingolani *et al.*, 2005). Se procede anotando el estado fenológico y el tamaño de la hoja, a la vez que se mide la altura de la planta. Estos individuos se arrancan con mucho cuidado para medir la raíz, y finalmente se introducen en sobres, se pesan y se secan en la estufa a 65°C. Una vez secos, se pesan de nuevo y se calcula el valor de materia seca correspondiente a un individuo medio de cada una de las especies muestreadas.

Los rasgos funcionales seleccionados para el análisis multivariable y su categorización es la siguiente (Tabla 1.4):

Inicio de la germinación. Momento en el cual las plántulas se dejan ver sobre el suelo. Esta variable comprende siete intervalos: hierbas que germinan tanto en otoño como en primavera **(1)**; germinan en otoño **(2)**; en otoño-invierno **(3)**; en invierno **(4)**; en invierno-primavera **(5)**; primavera **(6)** y primavera-verano **(7)**. Nos da idea de precocidad y está relacionado con la capacidad de dominancia, el control de la erosión, y la capacidad de evitar el disturbio.

Inicio de la floración. Momento en el cual las arvenses comienzan a florecer. Este momento marca el inicio de un mayor consumo de los recursos por parte de las plantas. Cuando esta floración corresponde a las especies dominantes, éstas se convierten en indicadoras o guías del uso de los recursos, de la capacidad de mantener las cadenas tróficas (polen, néctar y nutrientes), de la regulación del agua en el suelo y del control de la erosión. Esta época puede adelantarse o retrasarse en función del lugar y del año de estudio. La medición de este dato se realiza mediante observación en campo. Las arvenses se clasifican según el mes en el que florecen: enero **(1)**; febrero **(2)**; marzo **(3)**; abril **(4)**; mayo **(5)** y junio **(6)**.

Tabla 1.4. Definición de variables/rasgos utilizados en el análisis multivariable para la identificación de grupos funcionales.

RASGO FUNCIONAL	TIPO VARIABLE	VALORES/CATEGORÍAS ASIGNADAS	PROCESO ECOSISTÉMICO*	MEDICIÓN/ REF.BIBLIO	BIBLIOGRAFÍA
Altura	Numérica	De 2 a 50 centímetros	A,B,C,D,E,G,H,I,J,M,Ñ,O	MUESTREO	Cornelissen <i>et al.</i> , 2003; Vesk & Westoby, 2004; Aquino, 2009; Casanoves <i>et al.</i> , 2011
Biotipo	Nominal	T.ER:1; T.RA:2; T.RO:3; T/H.CE:4; T/H.ER:5; T/H.RO:6; G:7; T.TR:8; H/G.RO:9	C,F,G,H,I,J,M,Ñ,O	Pujadas-Salvá, 1986; Valdés <i>et al.</i> , 1987;	McIntyre <i>et al.</i> , 1995 ; Cornelissen <i>et al.</i> , 2003; Hérault <i>et al.</i> , 2005
Estado fenológico	Ordinal	Plántula: 1; Crecimiento: 2; Desarrollo órganos propagación o embuchamiento: 3; Pre-flor o espigamiento: 4; Flor: 5; Flor+Fruto: 6; Fruto: 7; Madurez: 8; Senescencia: 9	B,D,E,F,G,I,Ñ	MUESTREO	Sans y Masalles, 1988
Evitación	Nominal	SI=1 ; NO=2	J, M, E, N	Observación en campo	
Fijación N	Nominal	SI=1 ; NO=2	D, K, M	Observación en campo	Casanoves <i>et al.</i> , 2011
Inicio floración	Ordinal	Enero=1; Febr.=2; Marz.=3; Abr.=4; May.=5; Jun.=6	K, L, M, G	Observación en campo	Hodgson <i>et al.</i> , 1999 ; Hérault <i>et al.</i> , 2005; Dalhgren <i>et al.</i> , 2006;
Inicio germinación	Ordinal	Otoño/Primav.:1; Otoño:2; Otoño/Inv.:3; Inv.:4; Inv./Primav.:5; Primav.:6; Primav./Verano:7	A, I, N	Observación en campo	Masalles, 2004; Storkey 2004
Polen disponible	Nominal	SI=1 ; NO=2	L	Rodríguez-Riaño <i>et al.</i> , 1999; Díaz, 2006; Puerta, 2008; Pujadas-Salvá (2010)	
Néctar disponible	Nominal				
Productividad	Numérica	De 0,5 a 597 gr/m ²	A, B, E, G, I, K,M,N,Ñ,O	CÁLCULO	Garnier <i>et al.</i> , 2004; Storkey, 2004
Profundidad de la raíz	Numérica	De 2,5 a 14 centímetros	G, I, C, D, E, O	MUESTREO	Westoby <i>et al.</i> , 2002; Cornelissen <i>et al.</i> , 2003; Casanoves <i>et al.</i> , 2011
Regeneración	Nominal	SI=1 ; NO=2	C, G, I, O	Observación en campo	Cornelissen <i>et al.</i> , 2003; Casanoves <i>et al.</i> , 2011
Tamaño hoja	Ordinal	PEQUEÑA=1; MEDIANA=2; GRANDE=3	B, I, D, E, G, M	MUESTREO	Díaz <i>et al.</i> , 2001; Westoby <i>et al.</i> , 2002 ; Vesk <i>et al.</i> , 2004
Tamaño semilla	Numérico	De 0,1 a 15,7 mm ²	O, G, H	CÁLCULO	Westoby <i>et al.</i> , 2002; Moles & Westoby, 2004; Hérault <i>et al.</i> , 2005; Peco <i>et al.</i> , 2009; Casanoves <i>et al.</i> , 2011
Tipo raíces	Nominal	PIVOTANTE:1; FASCICULADO:2	D, E	MUESTREO	Casanoves <i>et al.</i> , 2011

*Código Tabla 1.3. T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; H/G: Hemicriptófito/Geófito; G: Geófito; ER: Erecto; RA: Rastrero; RO: Rosulado; CE: Cespitoso; TR: Trepador.

Estado fenológico. Fase de desarrollo en el que se encuentran las plantas antes del control de la cubierta. Cuanto más desarrollada se encuentra la planta en el momento de control, más posibilidades tiene de encontrarse de forma frecuente en años sucesivos. Este rasgo está relacionado con la acumulación y captura de carbono, regulación hídrica, evapotranspiración, capacidad competitiva, efectos en el régimen del disturbio, disponibilidad de agua y nutrientes, y reciclaje de nutrientes. Las arvenses se pueden encontrar en estado de Plántula **(1)**; Crecimiento **(2)**; Desarrollo de las partes vegetativas de propagación o embuchamiento **(3)**; Pre-flor o espigamiento **(4)**; Floración **(5)**; Floración+Fructificación **(6)**; Fructificación **(7)**; Madurez **(8)** y Senescencia **(9)**.

Biotipo de Raunkjaer al que pertenece cada planta, es decir, su ciclo vital y su forma de crecimiento. Este rasgo está relacionado con la respuesta de las plantas al CO₂, la capacidad competitiva, respuesta a disturbios, efecto sobre el régimen del disturbio, tasa de descomposición de las hojas, disponibilidad de agua y nutrientes, defensa de la planta, evapotranspiración, pioneras o tolerantes a la sombra. Esta clasificación se ha ido ampliando y modernizando a través de los años, en este estudio nos basamos en el criterio que propone Bolós en Font i Quer (1979). Finalmente, en la matriz de rasgos funcionales, las especies se clasifican en los siguientes biotipos: T.ER **(1)**; T.RA **(2)**; T.RO **(3)**; T/H.C **(4)**; T/H.ER **(5)**; T/H. RO **(6)**; G **(7)**; T.TR **(8)** Y H/G.RO **(9)**.

Tamaño de la hoja. Rasgo relacionado con la acumulación y captura de carbono, capacidad de competir por la luz y por tanto de resultar dominante sobre las demás; también relacionado con los mecanismos de defensa de la planta y con el reciclado de nutrientes ya que las hojas pequeñas favorecen una rápida descomposición en el suelo, a la vez que el tamaño de la hoja nos informa de la capacidad de movilizar los nutrientes en forma de biomasa foliar y también de la disponibilidad de agua y nutrientes. Por otro lado, ligado con la regulación del agua del suelo, ya que la transpiración es mayor en las hojas grandes, siendo las pequeñas, indicadoras de limitaciones en el contenido de agua. A la vez, este rasgo está fuertemente relacionado con el herbivorismo y la capacidad forrajera. Este rasgo se mide a través de la observación en el campo. Según su tamaño, se clasifican las hojas en pequeñas **(1)**, medianas **(2)** y grandes **(3)**.

Tamaño de la semilla. El tamaño en milímetros de la semilla según la Flora vascular de Andalucía occidental, permite el cálculo de su superficie (mm²), asimilándola a una elipse (Zwillinger, 1996) a través de la expresión $\pi \cdot 1/2a \cdot 1/2b$ (donde, a: ancho y b: largo). Este rasgo está relacionado con la respuesta de las plantas a los disturbios, y con el uso de los recursos. Las plantas que producen muchas semillas pequeñas se diseminan más ampliamente y tienen más oportunidades de encontrar un sitio favorable para germinar y crecer; sin embargo, su tamaño pequeño aporta poco al crecimiento de la planta y ésta depende muy pronto de los recursos disponibles en su medio. Aunque esto se compensa por el gran número, asegurando la supervivencia de buena parte de ellas. Las semillas grandes se producen en menor número y frecuentemente se diseminan a distancias más cortas, pero cuentan con mayor cantidad de recursos para iniciar su crecimiento y establecimiento en lugares con escasez de recursos (p.ej.: a la sombra de los bosques), ya que las plántulas son más grandes y resistentes, con mayor superficie de raíces y de hojas. Las semillas de plantas heliófilas suelen ser pequeñas, mientras que las que se establecen a la sombra de otros suelen ser mayores.

Altura. La altura del tallo principal de la planta está relacionada con muchos procesos ecosistémicos, como la acumulación y captura de carbono, capacidad de competir, respuesta a disturbios, también indica la disponibilidad de agua y nutrientes, la capacidad de producir biomasa sobre el suelo, el reciclaje de nutrientes y la regulación hídrica. La altura se mide en centímetros, desde el nivel del suelo, a la vez que se anota la altura relativa respecto a la veza sembrada.

Profundidad de la raíz. Se toman en campo los datos referentes a este rasgo funcional de las arvenses, muy relacionado con el contenido de agua y nutrientes en el suelo, con la capacidad competitiva, el reciclaje de nutrientes y también como respuesta al CO₂. Este dato se mide en centímetros para la muestra descrita, el valor medio resultante se considera que tan solo representa el 95% de la longitud total de la raíz (Cornelissen *et al.*, 2003) por lo que se le añade un 5%.

Tipo de raíces. Este rasgo funcional está relacionado con la fertilidad del suelo y su buena estructura ya que participan en el ciclo de nutrientes y del agua. Las raíces pivotantes son más pesadas, acumulan más nutrientes a la vez que crean huecos en el suelo y aumentan la capacidad de almacenar agua en profundidad. Las raíces fasciculadas contribuyen a la agregación de las partículas del suelo y a la aireación de las capas más superficiales. Se clasifican las especies en función de poseen raíces pivotantes **(1)** o fasciculadas **(2)**.

Productividad. Se construye a partir de los datos escalares correspondientes a la materia seca por individuo y al número de individuos por metro cuadrado presentes según tratamiento y fecha. Se expresa como gramos de materia seca de la especie *i* en un metro cuadrado de suelo. Da idea de recubrimiento del suelo y estaría relacionado con el uso de los recursos, la capacidad de dominancia y la protección del suelo. La materia seca se midió durante los dos últimos años de estudio antes del primer control de la cubierta. Se trata de un indicador ampliamente utilizado en referencia a la habilidad de la flora para movilizar recursos, capacidad de dominancia, respuesta a la disponibilidad de nutrientes y agua, respuesta al CO₂ y como efecto sobre el régimen del disturbio.

Producción de polen y de néctar. En esta ordenación, las especies se clasifican según presenten **(1)** o no **(2)** polen disponible para la fauna, o bien si presentan **(1)** o no **(2)** néctar disponible. Además de las propiedades melíferas de algunas de estas especies, la producción de polen y néctar asegura el alimento a otros insectos, entre ellos la fauna auxiliar. Estos caracteres están relacionados con la polinización, servicio ecosistémico de principal importancia. Son rasgos que indican la capacidad mantener a las cadenas tróficas. Esta información se obtiene del Centro Andaluz de Apicultura Ecológica (CAAPE), y estudios sobre composición de las mieles.

Evitación. Capacidad de algunas especies para escapar a la perturbación ya sea por su escasa altura, su porte rastrero, o por encontrarse en forma de plántula o semilla. Estos datos se obtienen mediante observación en campo de 2003 a 2009. Este rasgo de defensa de la planta, da idea de la respuesta ante el manejo y está relacionado con la regulación del agua en el suelo y el control de la erosión. Las especies se clasifican según presenten **(1)** o no **(2)** este rasgo de evitación.

Regeneración. Capacidad de las plantas para regenerarse tras una perturbación, como por ejemplo a través de estrategias como el rebrote o el ahijado típico de las gramíneas. Las especies que por su periodicidad vuelven a germinar tras la perturbación, también las consideramos con capacidad regenerativa. Esta clasificación se ha obtenido a través de la observación en campo de 2003 a 2009. Este rasgo es respuesta al disturbio, al CO₂ y a la disponibilidad de agua y nutrientes y denota capacidad competitiva. Las especies se clasifican según presenten **(1)** o no **(2)** este rasgo.

Fijación de nitrógeno. Las especies se clasifican según tengan o no la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo a través de la simbiosis con bacterias del género *Rizhobium* principalmente. Este rasgo es propio de las especies de la familia de las leguminosas. Este carácter está relacionado con el ciclo del nitrógeno, el valor nutritivo o fertilizante de la cubierta y la fertilidad del suelo. Las especies se clasifican según fijen **(1)** o no **(2)** nitrógeno.

Con esta información se construye la matriz de datos, que está formada por tantas filas como especies (SP) importantes aparecen para cada año y manejo estudiado, y por tantas columnas como rasgos funcionales clave (R) se han tenido en cuenta. La matriz (SP x R) permite ordenar y agrupar las arvenses en tipos o grupos funcionales, para cada año de ensayo y para cada tratamiento. Sin embargo, al no ser estos grupos idénticos en su composición específica de un año a otro y entre tratamientos, es necesario agruparlos de nuevo y obtener una clasificación general conjunta, que permita analizar las diferencias funcionales entre tratamientos y su evolución. Por ello, se construye una nueva matriz (GF x R), que está formada por tantas filas como grupos funcionales distintos se han identificado (GF), y por tantas columnas como rasgos funcionales clave (R) se han incluido en el modelo, y cuyos valores se derivan de la primera matriz. En consecuencia, se obtiene un número de grupos funcionales, que una vez identificados y caracterizados, pueden cuantificarse y, de este modo, proceder al análisis de la composición y estructura funcional de las cubiertas en función del tratamiento ensayado, en base a los indicadores de la Tabla 1.2.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

La naturaleza del muestreo hace que los datos presenten una alta variabilidad y deban ser transformados para cumplir con los supuestos del análisis de la varianza, principalmente normalidad, aditividad y homoscedasticidad, así como con la distribución aleatoria de los residuos. Estas transformaciones varían en función de la variable y el año de muestreo, y se pueden consultar en el Anexo 1.E para los indicadores a nivel florístico y de biotipos, y en el Anexo 1.F para los indicadores a nivel funcional. Los datos transformados cumplen con los supuestos del ANOVA y se utilizan tanto para el análisis anual como para el análisis combinado de los datos. En ocasiones, aún transformar los datos y cumplir con los supuestos del ANOVA, no es posible analizar los datos de todos los años de ensayo de forma conjunta. En estos casos, se omiten las repeticiones (años) con valores más extremos, o bien se agrupan los años en distintos paquetes de análisis. Tras el análisis, se convierten los datos salientes a la escala original para representar y discutir los resultados. Se realizan los análisis de la varianza en relación a la composición y estructura familiar, genérica, específica, de biotipos y de grupos funcionales cada año por separado en base a un diseño en bloques completamente aleatorizado (Anexo 0) con el programa Statistix 8. A continuación se tratan los datos de los

seis años de ensayo de forma conjunta para obtener una información más completa, y con mayor poder predictivo que el análisis por separado de los diferentes años.

Para abordar el estudio de los datos recogidos durante los seis años de estudio de forma conjunta, se realizan los correspondientes análisis de la varianza combinado en base a un diseño en parcelas divididas o Split-plot. El formato de un ANOVA combinado de medidas repetidas en el tiempo para un diseño en bloques completos al azar es idéntico a un diseño en Split-plot, con los tratamientos como parcela principal y el tiempo de observación como sub-parcela. A su vez, si se aplica el modelo lineal mixto al caso de estudio, debido a que no existe una variabilidad constante o correlacionada, es posible usar del mismo modo el procedimiento de medidas repetidas. El programa Statistix permite insertar el modelo estadístico utilizando el esquema del diseño en Split-plot, o bien mediante un ANOVA general, donde los términos se introducen manualmente. Se incluyen en el análisis combinado todos aquellos experimentos (años distintos de estudio) que cumplan con la homogeneidad de las varianzas de los cuadrados medios del error de cada experimento. Para evaluar la posibilidad de combinar los distintos errores se utiliza la distribución F de Fisher cuando se quieren combinar dos años distintos (en el caso del análisis antes del segundo control de la cubierta), y Chi-cuadrado para series de más de dos años (en el caso del análisis antes del primer control de la cubierta). Los resultados de estas pruebas se pueden consultar en el Anexo 1.E y 1.F.

El análisis combinado permite examinar el efecto de la interacción entre un tratamiento y el año de observación. Esta interacción tiene un claro significado agronómico, y abordamos su estudio a través de una ANOVA general donde se incluye esta interacción como un término del modelo: TRAT BLOQUE FECHA FECHA*TRAT. Esto permite analizar la interacción a lo largo del tiempo, así como la significación de dicha interacción (Anexo 1.E y 1.F). Las diferencias entre tratamientos se establecen a través de la comparación de medias, a un nivel de significación $\alpha=0,05$, mediante el método de la mínima diferencia significativa (LSD). Los resultados de la comparación de medias aparecen seguidas de una o varias letras, cada letra señala a un grupo homogéneo de medias, de forma que medias seguidas por alguna letra común no difieren significativamente entre sí para el nivel α elegido (Fernández *et al.*, 2010). En ocasiones las medias aparecen en una matriz triangular, destacando con un asterisco todos los pares de medias que difieren significativamente. La representación gráfica de la interacción del tratamiento con la fecha de observación y su significación estadística se puede consultar en el Anexo 1.C para los indicadores a nivel taxonómico y de biotipos, y en el Anexo 1.G para los indicadores a nivel funcional.

Para la determinación de grupos funcionales se utiliza el programa SPSS 21. Una vez construida la matriz de especies*rasgos o caracteres clave (Anexo 1.D), y mediante el análisis de componentes principales (ACPP) se reduce el conjunto original de variables a un conjunto más pequeño de componentes no correlacionados que representen la mayor parte de la información encontrada en las variables originales (Anexo 1.F). La técnica es más útil cuando un extenso número de variables impide una interpretación eficaz de las relaciones entre los objetos, como sucede en el caso de estudio. Al reducir la dimensionalidad, se interpreta un pequeño número de componentes en lugar de un extenso número de variables. En este caso, el método de escalamiento óptimo permite escalar las variables a diferentes niveles. Las variables categóricas se cuantifican de forma óptima en la dimensionalidad especificada. Como

resultado, se pueden modelar relaciones no lineales entre las variables. Esto es, los valores de las variables de cadena se convierten en enteros positivos por orden alfabético ascendente. La opción de discretización categoriza de forma automática una variable con valores fraccionarios, agrupando sus valores en categorías con una distribución casi "normal" y convirtiendo de forma automática los valores de las variables de cadena en enteros positivos.

En segundo lugar, se utilizan herramientas de clasificación, con el fin de agrupar los casos, en base al procedimiento de Análisis de Conglomerados en dos fases o bietápico (Anexo 1.F). Se trata de una herramienta de exploración diseñada para descubrir las agrupaciones naturales de un conjunto de datos que, de otra manera, no sería posible detectar. El algoritmo que emplea este procedimiento incluye varias funciones que lo hacen diferente de las técnicas de conglomeración tradicionales: tratamiento conjunto de variables categóricas y continuas; determinación automática del número óptimo de conglomerados, y mediante la escalabilidad se puede analizar archivos de datos de gran tamaño. Asimismo, el procedimiento permite la tipificación de variables continuas del modelo. El procedimiento genera criterios de información (AIC o BIC) según el número de conglomerados de la solución, las frecuencias de los conglomerados para la conglomeración final y los estadísticos descriptivos por conglomerado para la conglomeración final. La medida de distancia utilizada para calcular la similitud entre conglomerados es la Log-verosimilitud. En cuanto al número de conglomerados escogidos, se utiliza la opción de SPSS para especificar un número fijo de conglomerados de la solución. Se prueba con distintos números de conglomerados, hasta que la agrupación obtenida, trasladada al espacio del diagrama de componentes principales, nos da grupos diferentes a simple vista, distanciados entre ellos y cuya interpretación resulta ecológicamente coherente. En estos diagramas, los casos representan los objetos (especies) que se van a conglomerar y las variables representan los atributos (rasgos funcionales) en los que se va a basar la conglomeración. El árbol de características de conglomerados y la solución final pueden depender del orden de los casos. Para minimizar los efectos del orden, se ordenan los casos aleatoriamente. Se pueden obtener varias soluciones distintas con los casos ordenados en distintos órdenes aleatorios para comprobar la estabilidad de una solución determinada.

La medida de la distancia de la verosimilitud supone que las variables del modelo de conglomerados son independientes. Además, se supone que cada variable continua tiene una distribución normal y que cada variable categórica tiene una distribución multinomial. Este procedimiento es bastante robusto frente a las violaciones tanto del supuesto de independencia como de las distribuciones, pero aun así es preciso tener en cuenta hasta qué punto se cumplen estos supuestos. Por esta razón, se utilizan las Correlaciones bivariadas y las contingencia para comprobar la independencia de dos variables continuas y dos variables categóricas respectivamente. Además, el procedimiento Medias se utiliza para comprobar la independencia existente entre una variable continua y otra categórica. Asimismo, el procedimiento Explorar nos permite comprobar la normalidad de una variable continua, y la Prueba Chi-cuadrado para comprobar si una variable categórica tiene una determinada distribución multinomial.

RESULTADOS

INVENTARIO, PRESENCIA/AUSENCIA Y COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Una primera aproximación a la composición florística de las cubiertas, queda representada en el inventario del Anexo 1.A, donde se recoge la presencia-ausencia de las especies para cada año de estudio. De abril de 2004 a junio de 2009 se identifican 123 especies distintas, representantes de 94 géneros y 24 familias botánicas. El 93,5% del total de especies, se registran en el mes de abril, mientras que en el mes de junio, aparecen el 62%. Así pues, la localización y el manejo favorecen una mayor presencia de taxones durante el mes de abril respecto al mes de junio, lo que coincide con la fenología de óptimo primaveral de las cubiertas en el olivar. Del total de especies presentes en el mes de junio, las cubiertas labradas hospedan de media, un 27,8% menos que las cubiertas desbrozadas. Ello implica que la cubierta de veza desbrozada (VS) favorece la permanencia de una buena parte de las representantes de la cubierta primaveral, mientras que en la cubierta de veza labrada (VI) y la espontánea labrada (D) se produce un cambio de flora entre el primer y el segundo control. En cualquier caso, tan solo 9 especies y 3 familias del total inventariado aparecen exclusivamente durante el mes de junio (Anexo 1.A), estas son, *Solanum nigrum* (Solanácea), *Medicago rugosa* (Leguminosa), *Bromus hordeaceus* (Gramínea), *Chrozophora tinctoria* (Euforbiácea), *Chamaesyce nutans* (Euforbiácea), *Chenopodium album* (Quenopodiácea), *Lolium perenne* (Gramínea), *Heliotropium europaeum* (Boraginácea), y *Amaranthus blitoides* (Amarantácea), y Amarantácea, Solanácea y Quenopodiácea propias del verano. Las familias que presentan más géneros y especies son Asterácea, Leguminosa, Gramínea, Crucífera, Cariofilácea y Escrofulariácea, y las más abundantes son las cinco primeras junto a Geraniácea. Otras familias aparecen puntualmente, como Urticácea, Primulácea, Plantaginácea o Poligonácea. Las especies denominadas acompañantes, por su baja abundancia y frecuencia no han sido monitorizadas para el análisis (Tabla 1.5). Sin embargo, pueden aumentar su importancia de un año a otro (*M.rugosa*, *M.truncatula*) o de una estación a otra (*Sorghum halepense*), pasando a ser registradas. También puede suceder que se conviertan en compañeras tras reducir su presencia (*Papaver dubium*). Asimismo, las arvenses propias de ruedos y lindes, puntualmente se observan entre las calles (*Urtica urens*, *Convolvulus altheoides*, *Sonchus asper*, *Silybum marianum*).

Tabla 1.5. Especies acompañantes.

ABRIL	<i>Aegilops sp.</i> ; <i>Andryala ragusina</i> ; <i>Convolvulus altheoides</i> ; <i>Medicago rugosa</i> ; <i>Medicago truncatula</i> ; <i>Papaver dubium</i> ; <i>Urtica urens</i> ; <i>Cynoglossum cretica</i> ; <i>Hipochaeris glabra</i>
JUNIO	<i>Anchusa undulata</i> ; <i>Cyperus rotundus</i> ; <i>Erigeron canadiensis</i> ; <i>Pallenis espinosa</i> ; <i>Polygonum aviculare</i> ; <i>Silybum marianum</i> ; <i>Sonchus asper</i>

La mayor parte de las especies de la cubierta son cosmopolitas de amplia distribución como *Capsella bursa-pastoris* o *Stellaria media*, seguidas de las de distribución mediterránea (*Anthemis arvensis*, *Erodium cicutarium*, *Bromus spp.*, *Alyssum simplex*, *Trifolium scabrum*), holoártica (*Hordeum murinum*, *Lamium amplexicaule*) y los endemismos peninsulares (*Diplotaxis virgata*, *Linaria amathystea*, *Sisymbrium crassifolium*). De forma general (Tabla 1.6), las especies que aparecen en todos los tratamientos, son propias de las comunidades de la clase *Stellarietea mediae* (*Ruderali-Secalietea*), de óptimo primaveral y con abundantes

arvenses cosmopolitas y otras de fenología más tardía propias de herbazales como *Hirschfeldia incana* u *Hordeum murinum*. Esta clase incluye el orden *Sisymbrietalia officinalis* con especies características como *Crepis vesicaria* o *Medicago polymorpha*. Los diferentes manejos y usos del suelo han propiciado, con los años, la presencia de especies características de distintas asociaciones vegetales que se presentan en los olivares (Cano, 2007; Sanz, 1986). Así que, aunque se encuentran claras coincidencias con las asociaciones del tipo *Anacyclo clavatii-Hordeetum leporini* y *Papaveri rhodeadis-Diplotaxietum virgatae*, también se presentan elementos propios de comunidades de pastizales secos como *Thaniathero-Aegilopion geniculatae*. Asimismo, parece contactar con *Resedo albae-Chrysanthemetum* en las zonas más nitrificadas como ruedos y lindes.

Tabla 1.6. Familias y especies presentes en todas las cubiertas.

De 2003 a 2009 en el mes de abril	
ASTER	<i>Anthemis arvensis; Calendula arvensis; Senecio vulgaris; Sonchus oleraceus</i>
CARIO	<i>Stellaria media</i>
CONVO	<i>Convolvulus Arvensis</i>
CRUCI	<i>Alyssum simplex; Capsella bursa-pastoris; Diplotaxis virgata</i>
GERAN	<i>Erodium cicutarium</i>
GRAMI	<i>Avena sterilis; Bromus diandrus; Bromus matritensis; Hordeum murinum</i>
LEGUM	<i>Medicago minima; Medicago polymorpha</i>
De 2007 a 2009 en el mes de junio	
GRAMI	<i>Hordeum murinum</i>

Las abreviaturas para las familias botánicas se pueden consultar en el Anexo 1.A

Tabla 1.7. Familias y especies muy poco frecuentes de 2003 a 2009 en el mes de abril.

APIAC	<i>Bifora testiculata; Daucus carota</i>
ASTER	<i>Crupina vulgaris; Picnomon acarna</i>
BORAG	<i>Anchusa undulata; Cynoglossum cretica; Echium plantagineum</i>
CONVO	<i>Convolvulus althaeoides</i>
CRUCI	<i>Biscutella auriculata; Clypeola jonthlapsi; Coronopus dydimus</i>
ESCRO	<i>Bellardia trixago; Parentucellia latifolia</i>
GRAMI	<i>Cynodon dactylon; Secale cereale; Triticum aestivum</i>
LEGUM	<i>Medicago truncatula; Psoralea bituminosa; Scorpiurus muricatus; Trifolium hirtum</i>
PAPAV	<i>Papaver dubium</i>
PLANT	<i>Plantago lanceolata</i>
POLIG	<i>Rumex pulcher; Polygonum aviculare</i>
PRIMU	<i>Anagalis arvensis; Asterolinon linum-stellatum</i>

Las abreviaturas para las familias botánicas se pueden consultar en el Anexo 1.A

Las especies poco frecuentes son importantes como grupo, al reflejar diferencias de hábitat entre los distintos manejos y aportar diversidad y estabilidad a la cubierta (Tabla 1.7 y 1.8). Por ejemplo, en el tratamiento VS, se hospedan de forma exclusiva, *Bellardia trixago*, *Parentucellia latifolia*, *Asterolinon linum-stellatum* y *Crupina vulgaris*, todas de la Clase *Helianthemetea guttati* en pastizales de escasa cobertura y porte dominados por terófitos efímeros sobre suelos incipientes poco estructurados. Otra especie propia de pastizales xerofíticos y prados es *Linaria amethystea*. También aparece de forma exclusiva en VS, un grupo de especies mediterráneas con una elevada cobertura como *Echium plantagineum*, *Plantago lanceolata* y *Taraxaccum erythrospermum* (Clase *Molinio-Arrhenatheretea*), perennizantes de suelos profundos y con grado de humedad y nutrientes variable en función de si se siega o pastorea.

Este hecho da idea de los patrones diferenciales que suceden en el tratamiento VS frente a las cubiertas labradas, donde se encuentran de forma exclusiva especies estivales de cultivos de secano en suelos removidos y ricos en nutrientes como *Solanum nigrum*, *Heliotropium europaeum* o *Chenopodium album*. Asimismo, son exclusivas del tratamiento VI, *Erodium malacoides*, *Sisymbrium irio*, *Scorpirus muricatus*, *Chrozophora tinctoria* o *Urtica urens*, indicando suelo nitrificado y moderadamente seco a húmedo. Las especies exclusivas de la cubierta espontánea como *Melilotus sulcatus*, *Sisymbrium crassifolium*, *Anagallis arvensis* o *Polygonum aviculare*, tienen un carácter ruderal y viario.

Tabla 1.8. Especies ausentes durante el ensayo según tratamiento (VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada).

Especies ausentes de 2003 a 2009 según tratamiento (abril)	
<i>Anchusa undulata</i> ; <i>Asterolinon linum-stellatum</i> ; <i>Bifora testiculata</i> ; <i>Bromus hordaceus</i> ; <i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Taraxacum erythospermum</i>	VI
<i>Bellardia trixago</i> ; <i>Bromus hordaceus</i> ; <i>Carduus tenuiflorum</i> ; <i>Clypeola jonthlaspi</i> ; <i>Echium plantagineum</i> ; <i>Parentucellia latifolia</i> ; <i>Papaver dubium</i> ; <i>Rumex pulcher</i> ; <i>Trifolium hirtum</i>	D
<i>Erodium malacoides</i>	VS
<i>Crupina vulgaris</i> ; <i>Chamaemelum mixtum</i> ; <i>Linaria amethystea</i> ; <i>Lolium perenne</i> ; <i>Medicago truncatula</i> ; <i>Plantago lanceolata</i> ; <i>Psolarea bituminosa</i> ; <i>Secale cereale</i> ; <i>Setaria sp.</i> ; <i>Taraxacum obovatum</i>	VI-D
<i>Sisymbrium irio</i> ; <i>Scorpirus muricatus</i> ; <i>Urtica urens</i>	D-VS
<i>Anagallis arvensis</i> ; <i>Polygonum aviculare</i> ; <i>Triticum aestivum</i>	VI-VS
Especies ausentes de 2007 a 2009 según tratamiento (junio)	
<i>Centaurea melitensis</i> ; <i>Crepis foetida</i> ; <i>Tragopogon crocifolius</i> ; <i>Bromus matritensis</i> ; <i>Bromus rubens</i> ; <i>Astragalus hamosus</i> ; <i>Astragalus stella</i> ; <i>Coronilla scorpioides</i> ; <i>Medicago truncatula</i> ; <i>Medicago littoralis</i> ; <i>Trifolium tomentosum</i> ; <i>Malva nicaensis</i>	VI
<i>Andryala integrifolia</i> ; <i>Rhagadiolus stellatus</i> ; <i>Echium plantagineum</i> ; <i>Poa annua</i> ; <i>Vicia sativa</i>	D
<i>Heliotropium europaeum</i> ; <i>Sorghum halepense</i> ; <i>Lamium amplexicaule</i> ; <i>Chenopodium album</i> ; <i>Erodium malacoides</i> ; <i>Solanum nigrum</i>	VS
<i>Torilis nodosa</i> ; <i>Carduus pycnocephalus</i> ; <i>Filago pyramidata</i> ; <i>Leontodon longirostris</i> ; <i>Arenaria serpyllifolia</i> ; <i>Cerastium glomeratum</i> ; <i>Herniaria cinerea</i> ; <i>Minuartia hybrida</i> ; <i>Silene apetala</i> ; <i>Silene nocturna</i> ; <i>Stellaria media</i> ; <i>Bromus hordaceus</i> ; <i>Bromus tectorum</i> ; <i>Lolium perenne</i> ; <i>Cynodon dactylon</i> ; <i>Setaria sp.</i> ; <i>Hippocrepis ciliata</i> ; <i>Medicago rugosa</i> ; <i>Psolarea bituminosa</i> ; <i>Papaver rhoeas</i> ; <i>Alyssum simplex</i> ; <i>Veronica persica</i> ; <i>Reseda undata</i> ; <i>Galium tricornutum</i>	VI-D
<i>Chrozophora tinctoria</i>	D -VS
<i>Melilotus sulcatus</i> ; <i>Sisymbrium crassifolium</i>	VI-VS



Fotos 1.1 a 1.3: Cubiertas antes del primer control el primer año de ensayo (mayo de 2004). Foto 1.1: Cubierta de veza labrada. Foto 1.2: Cubierta natural labrada. Foto 1.3: Cubierta de veza desbrozada.

Se toma como punto de partida en el análisis de las comunidades, el levantamiento florístico de 2004, cuando el único manejo diferencial que han experimentado las cubiertas ha sido, la siembra de veza con rastreo en VI y la siembra sin mover el suelo en VS (Fotos 1.1 a 1.3). La Tabla 1.9, refleja como al inicio del ensayo (2003-2005) la composición florística expresada como la relación de especies más abundantes ($AB \geq 5\%$ y $FR > 50\%$) es similar entre tratamientos, puesto que todavía no se ha producido el efecto acumulativo del manejo diferencial sobre la comunidad vegetal.

Tabla 1.9. Clasificación de las especies más abundantes (%) al inicio y al final del ensayo antes del 1^{er} y 2^o control de la cubierta (VI: veza labrada; D: natural labrada y VS: veza desbrozada).

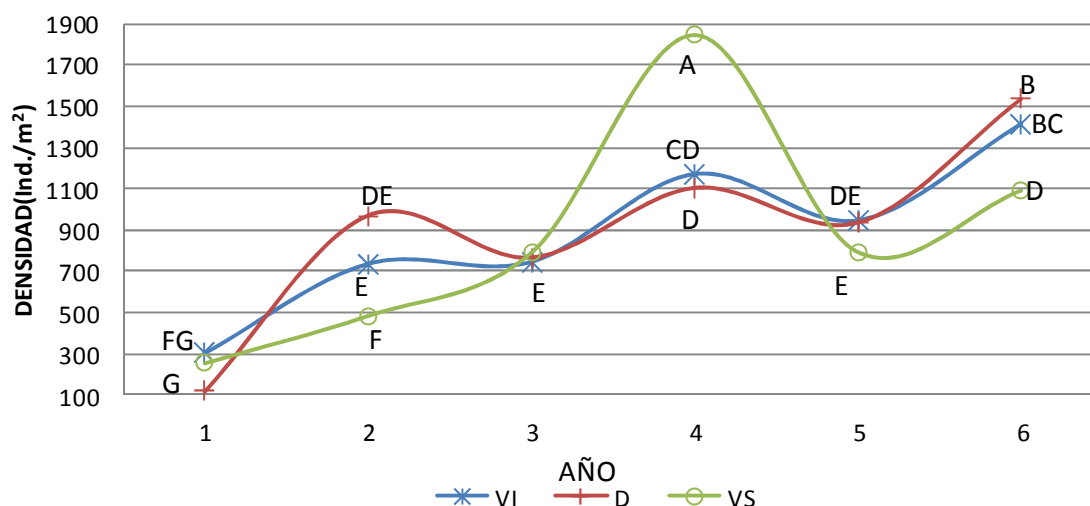
Al inicio del ensayo (2003 a 2005) abril		
AB \geq 10	VI	<i>Medicago minima</i> ; <i>Stellaria media</i> ; <i>Capsella bursa-pastoris</i> ; <i>Vicia sativa</i> ; <i>Bromus diandrus</i>
	D	<i>Medicago minima</i> , <i>Stellaria media</i> ; <i>Capsella bursa-pastoris</i> ; <i>Bromus diandrus</i>
	VS	<i>Medicago minima</i> ; <i>Bromus diandrus</i> ; <i>Stellaria media</i> ; <i>Senecio vulgare</i> ; <i>Vicia sativa</i>
5 \leq AB \leq 10	VI	<i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Medicago polymorpha</i> ; <i>Alyssum simplex</i> ; <i>Senecio vulgare</i>
	D	<i>Convolvulus arvensis</i> ; <i>Alyssum simplex</i>
	VS	<i>Capsella bursa-pastoris</i> ; <i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Arenaria serpyllifolia</i> ; <i>Alyssum simplex</i>
Al final del ensayo (2007 a 2009) abril		
AB \geq 10	VI	<i>Vicia sativa</i> ; <i>Calendula arvensis</i> ; <i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Diploaxis virgata</i>
	D	<i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Diploaxis virgata</i> , <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Calendula arvensis</i>
	VS	<i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Bromus madritensis</i>
5 \leq AB \leq 10	VI	<i>Bromus diandrus</i> , <i>Medicago minima</i> , <i>Stellaria media</i> ; <i>Capsella bursa-pastoris</i>
	D	<i>Bromus madritensis</i> ; <i>Capsella bursa-pastoris</i> ; <i>B. diandrus</i> ; <i>Stellaria media</i> ; <i>Medicago minima</i>
	VS	<i>Medicago minima</i> ; <i>Crepis vesicaria</i> ; <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Bromus diandrus</i> ; <i>Stellaria media</i> ; <i>Calendula arvensis</i> ; <i>Medicago polymorpha</i> ; <i>Holosteum umbellatum</i>
Quinto año de ensayo (2007-2008) junio		
AB \geq 10	VI	<i>Amaranthus blitoides</i> ; <i>Diploaxis virgata</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Heliotropium europaeum</i> ; <i>Hordeum murinum</i>
	D	<i>Amaranthus blitoides</i> ; <i>Diploaxis virgata</i>
	VS	<i>Bromus diandrus</i> ; <i>Crepis vesicaria</i> ; <i>Avena sterilis</i> ; <i>H. murinum</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Medicago minima</i>
5 \leq AB \leq 10	VI	<i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Capsella bursa-pastoris</i> ; <i>Sonchus oleraceus</i> ; <i>Bromus diandrus</i> ; <i>Trifolium scabrum</i>
	D	<i>Heliotropium europaeum</i> ; <i>Chamaesyce nutans</i> ; <i>Erodium cicutarium</i>
	VS	<i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Bromus madritensis</i> ; <i>Medicago polymorpha</i> ; <i>Erodium cicutarium</i>
Sexto año de ensayo (2008-2009) junio		
AB \geq 10	VI	<i>Convolvulus arvensis</i> ; <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Avena sterilis</i>
	D	<i>Hordeum murinum</i> ; <i>Convolvulus arvensis</i> ; <i>Sorghum halepense</i> ; <i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i>
	VS	<i>Crepis foetida</i> ; <i>Crepis vesicaria</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Silene vulgaris</i> ; <i>Medicago minima</i> ; <i>Medicago polymorpha</i>
5 \leq AB \leq 10	VI	<i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Calendula arvensis</i> ; <i>E. cicutarium</i> ; <i>Sorghum halepense</i> ; <i>Vicia sativa</i>
	D	<i>Crepis vesicaria</i> ; <i>Medicago truncatula</i> ; <i>Lolium rigidum</i> ; <i>Sonchus oleraceus</i> ; <i>Bromus rubens</i>
	VS	<i>Hordeum murinum</i> ; <i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Avena sterilis</i> ; <i>Trifolium scabrum</i> ; <i>Urospermum picroides</i>

Al inicio del ensayo, las especies con una abundancia superior al 5% son las mismas en los tres tratamientos, excepto la veza en VI y VS, *Convolvulus arvensis* en D y *Arenaria serpyllifolia* en VS. Sin embargo, los últimos años, las especies con una abundancia superior al 10%, son distintas a las del inicio. Al final del ensayo, las especies más abundantes son las mismas para las cubiertas labradas (excepto la veza en VI). Por otro lado, de 2007 a 2009 en el tratamiento VS, solo *Erodium cicutarium* y *Bromus madritensis* aparecen con una abundancia superior al 10%. Las especies que al inicio son más abundantes ($\geq 10\%$), se posicionan al final con una abundancia del 5 al 10%, y son las mismas para VI y D (excepto *Bromus madritensis* en D). Sin embargo, en el tratamiento VS, aparecen más diferencias del inicio al fin, incorporándose nuevas especies con una abundancia del 5 al 10% (*Medicago polymorpha*, *Holosteum umbellatum*, *Hordeum murinum*, *Calendula arvensis* y *Crepis vesicaria*). Por otro lado, las especies que, estando ausentes en abril, aparecen en el mes de junio con una abundancia superior al 5% son *Centaurea solstitialis*, en todos los tratamientos con una $AB > 10\%$, y *Avena sterilis* y *Trifolium scabrum* en los tratamientos VI y VS. Sin embargo, las coincidencias son mayores entre D y VI, con especies como *Amaranthus blitoides*, *Heliotropium europaeum*, *Sorghum halepense* y *Sonchus oleraceus*, de periodicidad estival, las dos primeras ausentes en los levantamientos del mes de abril. Por otra parte, aparecen ciertas especies que pasan a ser más abundantes en junio, éstas son *Crepis foetida* y *Urospermum picroides* en el tratamiento VS, *Convolvulus arvensis* en VI, y *Chamaesyce nutans* en D, *Anthemis arvensis*, *Lolium rigidum*, *Medicago truncatula* y *Bromus rubens*.

Siguiendo con la aproximación general, destacar cómo el cambio de manejo del suelo conlleva un aumento continuado en el número de individuos por metro cuadrado (Figura 1.2), siendo el sexto año, significativamente mayores para las cubiertas labradas frente a las segadas. El aumento de la densidad de individuos responde a la reducción de la intensidad y frecuencia de la perturbación, que supone el laboreo superficial y el no laboreo en abril, frente al gradeo temprano de la cubierta que se realizaba anteriormente. Sin embargo, el cuarto año destaca por el aumento significativo que experimentan la densidad de ciertos taxones en el tratamiento VS (Gramíneas, Geraniáceas, Asteráceas, *Centaurea solstitialis*, *Anthemis arvensis*, *Andryala integrifolia*). Esta explosión de individuos se debe en buena parte al retraso en la eliminación de la cubierta el tercer año, que se realizó a final de julio, dando lugar a una mayor producción de semillas por parte de especies de floración tardía propias del tratamiento VS. También pudiera estar motivado por la siembra parcial de Veza en primavera en VS y su máxima densidad el cuarto año, lo que habría estimulado el aumento de Rubiáceas, Lamiáceas, *Stellaria media*, *Senecio vulgaris* o *Bromus diandrus*. El aumento general de la densidad de individuos debido al laboreo y al desbrozado, conlleva una mayor cobertura del suelo y un incremento de la biomasa de la cubierta, en ambos casos esto resulta en una cubierta más compleja y en el enriquecimiento del suelo. Una explicación para esta explosión general de diversidad, sería que el laboreo superficial y el desbrozado conllevan un enterrado superficial de las semillas, estimulando la germinación de gran parte de ellas, mientras que los laboreos profundos, sobre todo con volteo, la inhiben (Riba Pijuan, 1993). También hay que apuntar al hecho que, muchas semillas de plantas espontáneas, presentan dormición o incapacidad para germinar bajo condiciones idóneas siendo la semilla viable (Taylorson *et al.*, 1977). Este estado posee un alto poder adaptativo, que permite a la especie disponer de un número elevado de estrategias reproductivas y tener un gran número de semillas viables

formando parte del banco de semillas del suelo, banco que forma un reservorio importante a la hora de hacer frente a condiciones adversas. Este comportamiento resulta en un constante reajuste de la flora, promovido por el ambiente físico pero también por el manejo diferencial del suelo. Todas las cubiertas se han enriquecido, pero han madurado en distinto grado debido al distinto manejo del suelo y tipo de cubierta ensayados. La gran plasticidad y adaptabilidad de estas herbáceas se refleja a nivel taxonómico, de biotipos y grupos funcionales.

Figura 1.2. Evolución de la densidad de individuos (2004-2009) en abril según tratamiento.



VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada). Test ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letra distintas (A, B, etc.).

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FLORÍSTICA ANTES DEL PRIMER CONTROL DE LA CUBIERTA

Los resultados del análisis estadístico para los indicadores de composición y estructura a nivel de taxones y biotipos se puede consultar en el Anexo 1.E. En el Anexo 1.B, se encuentran las diferencias anuales entre tratamientos, antes del primer y segundo control de las cubiertas. Por otro lado, en las Tablas 1.10, 1.11, 1.14 y 1.15, se exponen las diferencias estadísticas para el conjunto de los seis años de estudio (abril), y durante los dos últimos años (junio). La representación gráfica de la evolución de los indicadores referentes a las familias y especies más importantes aparecen en el Anexo 1.C. Asimismo, la esquematización de las tendencias significativas diferenciales durante el ensayo derivadas de los gráficos de evolución se pueden ver en la Tabla 1.12 y 1.16. A partir de los resultados del análisis anual y conjunto para los indicadores de la Tabla 1.2 y de su evolución, se caracterizan las cubiertas en base a tendencias diferenciales, ya sea incrementando el valor de los indicadores, con máximos diferenciales al final del ensayo de forma direccional, o bien, la tendencia seguida durante los tres primeros años, se invierte al final del ensayo. En ambos casos, las diferencias se hacen evidentes sobre todo en la segunda mitad del ensayo (Anexo 1.C).

Asteráceas

Las Asteráceas son la familia más abundante en todas las cubiertas ensayadas, y tienden a aumentar significativamente el número de géneros, especies y su densidad, en todos los

tratamientos hasta el fin del estudio. Sin embargo, el tratamiento VS favorece su presencia, ya que la frecuencia, abundancia, riqueza de géneros y especies son significativamente superiores frente a las cubiertas labradas (Tabla 1.10). La tendencia durante el ensayo en VS, es aumentar significativamente del inicio al fin del estudio, los valores de todos los indicadores excepto para la abundancia relativa familiar individual y específica. También destaca el aumento significativo de la importancia relativa y absoluta de las Asteráceas en el tratamiento D durante el estudio (Tabla 1.12 y Anexo 1.C), ya que pasa de representar el 9% de los individuos totales y el 19% de las especies, a significar el 22% y el 24%, respectivamente, y con valores cercanos a los de VS (Anexo 1.B). En cuanto al tratamiento VI, aunque también presenta un aumento significativo de la importancia de las Asteráceas, los valores no logran alcanzar a los obtenidos en D y VS (Anexo 1.C). Asimismo, la abundancia relativa familiar específica experimenta una tendencia significativa a la baja en el tratamiento VI.

En la Tabla 1.11, en términos absolutos, queda reflejada la preferencia por el tratamiento VS de las especies *Andryala integrifolia*, *Centaurea solstitialis* y *Crepis vesicaria*, y la preferencia VI y D de *Calendula arvensis*. Por otro lado, *Anthemis arvensis* es más importante en las parcelas sembradas con veza, y *Sonchus oleraceus* es significativamente más frecuente en VI frente a VS. Las Asteráceas que protagonizan tendencias diferenciales entre tratamientos durante los primeros años de estudio son (Tabla 1.12, Anexo 1.C): *Centaurea solstitialis*, aumentando su importancia en VI y VS, *Lactuca serriola* en VS y *Senecio vulgaris* en D y VS. En cualquier caso, son *Crepis vesicaria*, *Anthemis arvensis* y *Calendula arvensis*, protagonistas de una tendencia diferencial al alza según el manejo.

La especie *Crepis vesicaria* aumenta su importancia en el tratamiento VS a partir del tercer año, con diferencias significativas frente a VI y D el quinto y sexto año de estudio (Anexo 1.C), acentuándose las diferencias en su densidad respecto al tratamiento D. Junto a ella, aparece de forma cada vez más consistente *Crepis foetida*. *Anthemis arvensis*, en la última mitad del ensayo, se desmarca de las cubiertas labradas, y del quinto al sexto año se produce una tendencia significativa al alza de la importancia de esta especie en VS, alcanzando los valores máximos para todos los indicadores, y significativamente superiores. *Calendula arvensis*, aumenta significativamente su frecuencia en VS, el tercer año, alcanzando valores significativamente mayores a los de VI y D. Sin embargo, a partir del cuarto año se inicia una tendencia significativa al alza de la importancia de *Calendula* en las cubiertas labradas frente a VS, sobre todo para la frecuencia y la densidad en VI.

Centaurea solstitialis es una oportunista que aumenta su frecuencia en todas las cubiertas, y su densidad en VS, donde completa su ciclo vital. Los valores máximos se registran en VS el cuarto año, y tiende a reducir su abundancia los últimos años, y su importancia en VI y D. Junto a ella aumenta la importancia de *Centaurea melitensis*. Cuando se desbroza en el mes de abril, la planta evita en parte la siega, lo que produce un incremento de la luz que recibe y rebrota, no pudiéndose prevenir la producción de semillas, que es mayor si el segundo control se retrasa hasta final de julio como ocurrió el tercer año. Esto motivó una explosión de individuos en la primavera del cuarto año, alcanzando los valores más altos para todas las cubiertas. Sin embargo, el adelanto de la fecha del segundo control de la cubierta (entre 10 y 20 días), cuando el abrepuño ya está con las primeras flores, reduce su importancia. Además, en VS, esta especie ha visto incrementada la competencia que sobre el espacio ejercen otras rosetas

tardías (*Crepis spp.*, *Urospermum picroides*, *Leontodon longirostris*, etc.). La especie *Andryala integrifolia* aparece de forma importante los tres primeros años, con una tendencia significativa al alza en su frecuencia y densidad en el tratamiento D, y a la baja en su abundancia relativa en VI y VS. Tras reducir su importancia en todos los tratamientos el quinto año, en el sexto, es más abundante en el tratamiento VS que en VI. Los valores máximos de frecuencia y densidad se dan el cuarto año en VS, para luego disminuir su importancia. Este hecho está relacionado con el tardío control de la cubierta el tercer año y su floración tardía. La especie *Sonchus oleraceus*, aumenta su densidad en todas las cubiertas durante el estudio, asimismo aumenta significativamente su abundancia relativa en VI, y su frecuencia en D y VS. El sexto año, los valores máximos de frecuencia se alcanzan en D con diferencias significativas frente a VS. *Senecio vulgaris* es una de las Asteráceas más abundantes en todas las cubiertas, y al inicio del estudio, incrementa su importancia en todos los tratamientos. Asimismo, aumenta significativamente su frecuencia y densidad en VI durante los seis años de estudio (Tabla 1.12). *Lactuca serriola* tiende a aumentar significativamente su frecuencia durante los seis años de estudio en todos los tratamientos, así como la densidad en D y VS. El último año, la frecuencia es significativamente mayor en VS y la densidad en D, mientras que presenta una tendencia significativa a la baja en VI desde el quinto año.

Borragináceas

Los representantes de esta familia botánica se registran con una frecuencia inferior al 50% y una abundancia inferior al 1%; sin embargo, resulta ser un grupo de plantas muy interesante por su vistosa floración y fenología más tardía. La familia de las Borragináceas no presenta diferencias entre tratamientos para ninguno de los indicadores de la Tabla 1.10. Por otro lado, durante el estudio, la tendencia es a aumentar significativamente la abundancia relativa familiar individual en VI y D, donde además, su frecuencia de aparición es significativamente mayor, el cuarto y sexto año frente a VS. En las cubiertas desbrozadas la abundancia relativa familiar específica resulta significativamente menor el sexto año que el primero. En general, las especies Borragináceas registradas presentan una floración primaveral tardía y solo *Lithospermum arvensis* es propio de comunidades terofíticas de cultivos por lo que prefiere las parcelas labradas, y es la representante más frecuente en todos los tratamientos, mientras que *Echium plantagineum* y *Anchusa undulata* tienen un carácter perennizante, apareciendo sólo puntualmente. Sin embargo, entre el primer y el segundo control de las cubiertas, esta familia aumenta sus representantes anuales (p.ej. *Heliotropium europaeum*).

Cariofiláceas

Otra familia importante es la de las Cariofiláceas, cuyo pequeño porte y ciclo corto les permite proliferar en las cubiertas de óptimo primaveral y baja talla sometidas a perturbaciones periódicas. En el tratamiento D se presentan los valores de abundancia relativa significativamente mayores a VI, mientras que VS presenta una abundancia específica mayor que VI (Tabla 1.10). El número de géneros y especies de Cariofiláceas tiende significativamente al alza en todas las cubiertas, al igual que la frecuencia y la abundancia individual (relativa y absoluta) en el tratamiento VS. También aumenta la densidad y la abundancia específica en el tratamiento VI, manteniendo valores muy similares a los de D y VS. Por otro lado, en las cubiertas naturales la abundancia relativa individual tiende significativamente a la baja. Las

especies como *Holosteum umbellatum*, *Cerastium glomeratum*, *Herniaria cinerea*, *Minuartia hybrida* o *Silene spp.*, no suponen, por separado, un peso importante en las cubiertas, pero en conjunto, son más importantes en VS al final del estudio frente a VI y D (Anexo 1.C).

A nivel específico, *Stellaria media* es importante en todas las cubiertas, aunque prefiere los suelos laboreados donde su abundancia y frecuencia relativa son significativamente mayores a las de VS (Tabla 1.11). Por el contrario, *Holosteum umbellatum*, presenta una densidad mayor en el tratamiento VS respecto a D y VI. Ambas especies protagonizan tendencias diferenciales entre tratamientos al inicio del estudio (Tabla 1.12, y Anexo 1.C). *Stellaria media*, durante el estudio, tiende a aumentar significativamente su importancia en VI, con valores de densidad significativamente mayores, el quinto y sexto año frente a VS. La frecuencia y la densidad también tienden al alza significativamente en VS, mientras que la abundancia relativa individual baja en el tratamiento D. *Holosteum umbellatum* resulta significativamente más importante al inicio en D, alcanzando un máximo el tercer año con valores significativamente mayores a VI. Sin embargo, esta situación se invierte el quinto y sexto año, cuando VS presenta una frecuencia relativa significativamente mayor. Si se atiende a la Tabla 1.12, esta especie aumenta su importancia de forma significativa en el tratamiento VS, mientras que la densidad sigue una tendencia acusada a la baja en D. La tendencia diferencial que protagoniza *Arenaria serpyllifolia*, es el descenso significativo de su importancia en el tratamiento VS, durante el ensayo (Tabla 1.12). Por otro lado, la tendencia de la especie *Minuartia hybrida* es la de reducir su importancia a través de los años, sobre todo en las cubiertas labradas, y mantener valores similares del tercer al sexto año de estudio en VS para su frecuencia y densidad.

Crucíferas

Las crucíferas protagonizan el cambio florístico observado en D, definen tres grupos diferenciados estadísticamente en función de su abundancia (relativa y absoluta), con valores significativamente superiores en D, seguido por VI y luego VS, así como una frecuencia significativamente superior en D. Esta familia durante los tres primeros años incrementa en todas las cubiertas su frecuencia, densidad, número de géneros y especies, sobre todo en VI y VS. Asimismo, es en las cubiertas labradas donde la abundancia relativa también tiende al alza de forma significativa. A partir del cuarto año se produce una tendencia a la baja para la abundancia relativa y absoluta en el tratamiento VS, y de la abundancia y la frecuencia relativa en VI. Los tres últimos años, la abundancia y frecuencia de crucíferas tiende significativamente al alza en el tratamiento D y su abundancia en VI. Concretamente, es en el tratamiento D donde los indicadores resultan significativamente mayores al resto de tratamientos al finalizar el estudio, excepto para la abundancia específica (Anexo 1.C).

A nivel específico (Tabla 1.11), *Capsella bursa-pastoris*, resulta ser más importante en D, y *Diplotaxis virgata* tiene clara preferencia por los tratamientos en que se labra el suelo (VI y D). La crucífera *Alyssum simplex* aparece de forma importante en todos los tratamientos, sin diferencias significativas. Las tendencias diferenciales entre tratamientos las protagonizan, *Capsella bursa-pastoris*, al inicio del ensayo, y la especie *Diplotaxis virgata* durante la segunda mitad del ensayo (Tabla 1.12 y en el Anexo 1.C). *Capsella bursa-pastoris*, reduce su importancia en todas las cubiertas del segundo al tercer año de ensayo, y en los últimos tres tiende a incrementar significativamente su frecuencia de forma general, así como su densidad en los

tratamientos VI y D (Anexo 1.C). Asimismo, esta especie tiende a aumentar significativamente su abundancia (relativa y absoluta) y frecuencia del inicio hasta el final del estudio en VI y VS (Tabla 1.12). *Diplotaxis virgata*, durante los tres últimos años, tiende a ser más importante en las cubiertas labradas (VI y D). Del inicio al fin del estudio, esta especie tiende a aumentar su abundancia, frecuencia y densidad en los tratamientos VI y D, donde alcanzan los valores máximos el último año de ensayo (319 Ind./m² en D y de 192 Ind./m² en VI) (Anexo 1.B). Por el contrario, en el tratamiento VS esta tendencia al alza solo se da para su frecuencia. *Alyssum simplex* experimenta una tendencia significativa al alza en las cubiertas espontáneas durante los seis años de estudio, para su frecuencia y densidad (Tabla 1.12).

Escrofulariáceas

La familia de las Escrofulariáceas hasta el cuarto año de estudio, tiende a incrementar su densidad significativamente en todas las cubiertas, con valores máximos para el cuarto año en VI. Asimismo, la abundancia individual y específica tiende al alza en las cubiertas labradas. En los dos últimos años, es la abundancia específica la que tiende a crecer más acusadamente en todos los tratamientos. El sexto año, la abundancia individual y absoluta es significativamente mayor en VS que en VI y D respectivamente. Si se considera la evolución durante el estudio, es en el tratamiento VS, donde esta familia experimenta un aumento más significativo de su importancia, dándose también un aumento del número de géneros. Por otro lado, aunque en el tratamiento VI y D también se produce un aumento significativo de la frecuencia, la densidad y la abundancia específica, no ocurre lo mismo para la abundancia relativa individual y el número de géneros y especies, que se mantienen constantes del primer al último año. Si se analizan los datos de forma conjunta (Tabla 1.10.) se obtienen valores significativamente superiores en VS para la abundancia individual y específica.

Las principales representantes de esta familia, *Veronica hederifolia* y *Veronica polita*, no presentan diferencias entre tratamientos para su abundancia o frecuencia (Tabla 1.11). Junto a estas especies, se identifica y registra el sexto año de ensayo, la especie *Veronica persica*, incrementando la especiación e importancia de este género botánico. *Veronica hederifolia* presenta las tendencias diferenciales más significativas los dos últimos años de estudio, cuando su importancia tiende al alza significativamente en VS, presentando el sexto año los valores más altos y una abundancia relativa mayor frente a D y VI. En cuanto a *Veronica polita*, aparece con una densidad de individuos superior a *Veronica hederifolia* para todos los tratamientos ensayados. Esta especie muestra una evolución fluctuante para todos sus indicadores en las cubiertas ensayadas, sin ninguna tendencia significativa, así como unos valores que no difieren significativamente entre tratamientos. Sin embargo, el sexto año, la densidad de *Veronica polita* en el tratamiento VI es significativamente mayor a la de VS.

Fumariáceas

La familia de las fumariáceas está representada por *Fumaria densiflora* y *Fumaria parviflora*, ninguna de ellas registrada con una abundancia superior al 0,5% o frecuencia por encima del 30%. Aún su poca importancia, presenta diferencias significativas entre tratamientos tal como se refleja en la Tabla 1.10., donde las cubiertas labradas tienen una frecuencia, densidad y nº de géneros y especies significativamente superior a VS. Igualmente, se produce una tendencia

significativa a la baja de la abundancia relativa (individual y específica), la frecuencia y la densidad de fumariáceas en el tratamiento VS del tercer al cuarto año de ensayo (Anexo 1.C). El quinto año, se registran los valores máximos de abundancia, frecuencia y densidad en el tratamiento VI, con valores significativamente superiores a los de VS. La abundancia y la frecuencia de fumariáceas el sexto año, es significativamente mayor en el tratamiento VI frente a VS. A pesar de estas fluctuaciones, en todos los tratamientos, los valores de los indicadores se mantienen similares del inicio al fin del ensayo, excepto la abundancia relativa familiar en D y VS, donde se reduce significativamente (Tabla 1.12).

Gramíneas

La familia de las gramíneas es la más abundante en las comunidades vegetales dentro y alrededor del olivar. Hasta el tercer año, su densidad tiende a crecer significativamente en todos los tratamientos, con valores, el cuarto año significativamente mayores en D y VS frente a VI. Asimismo, aumenta la frecuencia y la abundancia específica en el tratamiento D. Sin embargo, los dos últimos años de estudio, tiende a disminuir su abundancia (relativa y absoluta) en los tratamientos D y VS, sobre todo en este último. Así pues, el sexto año, los valores de densidad en las cubiertas labradas son significativamente superiores a los que se encuentran en VS. Durante el ensayo se incrementa significativamente la frecuencia, la densidad y la abundancia específica en D, y la frecuencia relativa en VS. Asimismo, disminuye la abundancia relativa individual y específica en VS. En cuanto al número de especies y de géneros, estos aumentan su valor en todas las cubiertas. Cuando se analizan los datos conjuntamente (Tabla 1.10), la frecuencia de gramíneas resulta ser significativamente mayor en el tratamiento D. Asimismo, las cubiertas naturales presentan una abundancia específica significativamente menor a la de las cubiertas sembradas con veza (VI y VS).

En cuanto a las gramíneas más abundantes y frecuentes (Tabla 1.10), *Lolium rigidum* aparece de forma significativamente más importante en las cubiertas espontáneas, y es en VI donde la frecuencia es significativamente inferior a la de D y VS. *Hordeum murinum* es significativamente más frecuente en D. En cuanto a *Avena sterilis*, su abundancia relativa individual es significativamente mayor en el tratamiento VS, y *Bromus madritensis* se presenta significativamente más densa en éstas cubiertas. *Bromus diandrus*, es la gramínea más importante en todos los tratamientos.

La única especie gramínea que protagoniza tendencias diferenciales entre tratamientos durante los seis años de estudio es *Hordeum murinum* (Tabla 1.12 y Anexo 1.C). Sin embargo, durante los primeros años de estudio, también *Bromus madritensis* tiende a aumentar significativamente su importancia en VI y VS. *Bromus diandrus*, durante el ensayo, reduce significativamente los valores de abundancia relativa en los tratamientos VI y VS, mientras que aumenta significativamente su densidad en D, donde se ve favorecida, aunque en general prefiere las cubiertas labradas. En cuanto a *Bromus madritensis*, el cuarto año, muestra los valores más altos para su densidad absoluta y relativa en VS, con diferencias significativas frente a VI. Sin embargo, el quinto y sexto año, se invierte la tendencia y los valores de frecuencia y densidad en D son significativamente mayores a los de VI, estando VS en una posición intermedia. El género *Bromus* es el que presenta una mayor especiación, y está representado también por *Bromus tectorum* y *Bromus rubens* (Anexo 1.A), que se registran

principalmente en los tratamientos D y VS, sobre todo en el primero frente a VI. Por otro lado, la especie *Bromus hordaceus*, se registra el sexto año de estudio en VS en el mes de junio.

Hordeum murinum, es junto a *B. diandrus* la gramínea más abundante, aunque tiende a aumentar su frecuencia y densidad en las cubiertas labradas frente a las desbrozadas desde el inicio del ensayo. Además, es en el tratamiento VI donde la abundancia relativa también crece significativamente. El sexto año, la densidad de *H. murinum* es significativamente inferior en el tratamiento VS que en VI y D. Por otro lado, *Hordeum vulgare* se sembró durante los tres primeros años de ensayo junto a la veza, aunque en ese tiempo no llegó a ser “importante” ($AB \geq 1\%$ y $FR \geq 50\%$). La tardía siembra de la mezcla, y la alta densidad de *Vicia sativa* y otras gramíneas silvestres, han impedido el buen establecimiento de la cebada en las cubiertas sembradas. Esta situación junto a la alta presencia de gramíneas silvestres que realizan la misma función, llevó a eliminar la cebada de la siembra. En cualquier caso, los mayores valores de frecuencia y densidad ocurren el tercer año, cuando la siembra se adelanta, siendo la frecuencia de esta especie significativamente superior en las cubiertas sembradas que en las espontáneas (Anexo 1.C). Otra especie gramínea, que aunque menos abundante aparece frecuentemente en todas las cubiertas es *Avena sterilis*, que prefiere las cubiertas VS y D de forma general, aunque los valores absolutos son significativamente más altos en VS, en abril, y en junio (Tabla 1.11 y Anexo 1.C). La tendencia hasta el sexto año es a aumentar la importancia en las cubiertas labradas, siendo los valores de frecuencia y densidad significativamente mayores en VS frente a VI el último año. *Lolium rigidum*, hasta el tercer año, aumenta su frecuencia en los tratamientos D y VS, y su densidad en D, alcanzando valores máximos para todos los indicadores en D y VS. Además, el tratamiento D muestra otro pico el quinto año para todos los indicadores con una frecuencia superior a la de VS y VI.

Leguminosas totales y leguminosas silvestres

Hasta el tercer año de estudio, la densidad de Leguminosas en todos los tratamientos tiende significativamente al alza, así como su frecuencia en D (Tabla 1.12). El cuarto año se alcanzan los valores máximos para las cubiertas sembradas, con valores significativamente superiores en el tratamiento VI, seguido por VS, y por último D (con 299; 216 y 70 Ind./m²) (Anexo 1.C). Durante los últimos años, la densidad de leguminosas tiende significativamente a la baja en los tratamientos VI y VS, así como la abundancia relativa en VI; en cambio, la frecuencia aumenta significativamente en D. La Tabla 1.10 muestra la presencia de tres grupos diferenciados estadísticamente en función de la importancia de leguminosas (VI>VS>D). Al inicio del ensayo, las leguminosas silvestres aumentan de forma significativa su importancia en el tratamiento D (Anexo 1.C), para reducirla del tercer al cuarto año, mientras que en VS tiende a la baja su abundancia y frecuencia. Sin embargo, los dos últimos años, la tendencia cambia y se incrementa la densidad en VS, alcanzando el sexto, los valores más altos y significativamente superiores a los del tratamiento D, al igual que sucede para la abundancia relativa. La tendencia durante el ensayo es a incrementar significativamente la abundancia específica en VS y D, así como la densidad en VS, y la frecuencia en D. Asimismo, se produce una tendencia significativa a la baja en la abundancia y la frecuencia relativa de leguminosas silvestres en VI y VS (Tabla 1.12). En cuanto a las diferencias absolutas entre tratamientos (Tabla 1.10), VI es el que presenta una frecuencia significativamente mayor a VS y D. Por otro lado, VS, presenta una abundancia relativa específica significativamente menor a la de VI y D, y una abundancia

relativa individual significativamente mayor a la de D. De las 20 especies leguminosas registradas, el 30% pertenecen al género *Medicago*, muy abundante y frecuente en todas las cubiertas (Tabla 1.11 y Anexo 1.A). *Medicago mínima* y *Medicago polymorpha* son muy frecuentes, pero significativamente más abundantes en VS. La especie *Coronilla scorpioides* presenta una densidad significativamente mayor en VS, y *Trifolium scabrum* es significativamente más importante en el tratamiento VI que en VS, mientras que en D mantiene una posición intermedia.

Las especies del género *Medicago spp.*, protagonizan tendencias diferenciales entre tratamientos durante la primera mitad del estudio, incrementando su importancia en el tratamiento D. Sin embargo, la especie que resulta indicadora de un claro cambio de tendencia en el tratamiento VS en la segunda mitad del estudio es *Medicago polymorpha*. Por un lado, *Medicago mínima*, es el carretón más importante, incrementando su densidad al inicio del ensayo en todas las cubiertas significativamente, así como su importancia en D. Del tercer al cuarto año se produce un descenso significativo en la abundancia relativa de *M. mínima* en todos los tratamientos, así como la densidad en D (Anexo 1.C). Sin embargo, en los tres últimos años se incrementa significativamente la importancia del carretón menor en el tratamiento VS, con valores el sexto año, significativamente mayores a los de VI. Durante el ensayo, la densidad tiende al alza en D y VS (Tabla 1.12), y la frecuencia en D, mientras que la abundancia relativa, disminuye en todas las cubiertas. Por otro lado, la segunda leguminosa más importante es *Medicago polymorpha*, que al inicio define tres grupos con una importancia significativamente distinta (VI>VS>D). La tendencia hasta el tercer año, es aumentar la frecuencia y la densidad de forma significativa en todas las cubiertas, para luego invertirse, y pasar a ser significativamente más abundante en VS hasta el último año, cuando alcanza valores máximos y superiores a los de las cubiertas labradas. La importancia de *M. polymorpha* aumenta de forma más acusada y significativa en el tratamiento VS. A estas especies le sigue de cerca en importancia *Medicago orbicularis*. Además, en los últimos años se registra *Medicago littoralis*, *Medicago truncatula* y *Medicago rugosa*, las dos últimas procedentes de la parcela donde se ensayaron.

El género *Trifolium*, está representado básicamente por *Trifolium scabrum*, seguido por *Trifolium tomentosum*, muy frecuente en todas las cubiertas y propia de lugares compactados. Le sigue de lejos *Trifolium hirtum* que se registra en VS los tres últimos años. *T. scabrum* incrementa significativamente su abundancia y densidad en el tratamiento VI, alcanzando valores máximos y significativamente mayores el tercer año. Sin embargo, en la segunda parte del estudio, se invierte la tendencia y en las cubiertas desbrozadas aumenta la abundancia y densidad de *T. scabrum*, con valores el sexto año, significativamente superiores frente a VI; asimismo, también se incrementa su densidad en el tratamiento D. Esta especie, durante el ensayo, incrementa su densidad en todos los tratamientos, la frecuencia en D, y su importancia en VS. La especie *Coronilla scorpioides* presenta hasta el tercer año, una tendencia al alza de su frecuencia en las cubiertas naturales, mientras que el cuarto año reduce de forma significativa su abundancia. Asimismo, la densidad aumenta significativamente en el tratamiento VS, alcanzando el cuarto año, valores máximos y significativamente mayores a los de VI y D. Sin embargo, en los tres últimos años destaca la tendencia a la baja de la densidad en VS. Durante el estudio, se ha producido una tendencia significativa a la baja de la abundancia relativa en VI y D, y de la densidad en VS.

Según la Tabla 1.11, *Vicia sativa*, se encuentra de forma significativamente más abundante y frecuente en el tratamiento VI, seguido por VS y en último lugar D. Su evolución durante el estudio, refleja el poco éxito en su implantación en VS, frente a su óptimo establecimiento en VI. La abundancia y frecuencia de *Veza*, tiende a reducirse significativamente del inicio al fin del ensayo, en los tratamientos VS y D, mientras que en el tratamiento VI la densidad aumenta de forma más acusada y significativa, alcanzando el cuarto y sexto año densidades en torno a 200 plantas/m². La óptima implantación de la cubierta sembrada depende de varios aspectos técnicos (Tabla 0.3) y ambientales (Ver Capítulo 2) que caracterizan la labor de siembra, tales como la fecha y profundidad de siembra, precipitaciones, etc. Por un lado, un aspecto a destacar es la estrategia de sembrar parte de la veza en primavera, el tercer y cuarto año de estudio, con el objetivo de mejorar su establecimiento en VS. Esta siembra parcial puesta en práctica durante el primer control de la cubierta (abril), permite que del tercer al cuarto año se produzca un aumento significativo en la densidad de veza para las cubiertas desbrozadas. Sin embargo, la misma estrategia puesta en práctica durante el segundo control de la cubierta (junio) del cuarto al quinto año no parece tener el mismo efecto, puesto que la densidad tiende significativamente a la baja en VS. Por otro lado, los valores más altos para los indicadores de abundancia y frecuencia se dan en los tres últimos años, cuando la siembra de las cubiertas se realiza más adelantada. Es destacable, el aumento que sucede en el tratamiento VI para la abundancia de veza, alcanzando los valores máximos el cuarto año, en parte debido a los 104 mm de lluvia caídos durante los 30 días siguientes a la siembra y el enterrado de la semilla un poco más profunda. Por el contrario, del cuarto al quinto año se produce una bajada significativa de la abundancia de veza en VI, lo que podría deberse al hecho de que al día siguiente a la siembra se producen una lluvia de 30 mm, seguida de 10 mm durante las siguientes 5 semanas, con una temperatura elevada, entorno a los 20 °C. Estas condiciones de sequedad y temperatura suave, junto a la alta dosis de siembra, habría propiciado, una rápida germinación inicial, pero un bajo establecimiento debido a una alta competencia entre las plántulas y una evapotranspiración que no se ve compensada en los 40 días siguientes a la siembra. De nuevo del quinto al sexto año, la abundancia de veza en el tratamiento VI experimenta un aumento significativo, que puede estar motivado por las condiciones de humedad y calidez durante el otoño de 2008/2009.

La siembra de veza parece estimular la abundancia y densidad de leguminosas silvestres en VS en la última mitad del estudio, y reduce su importancia relativa en VI. Este hecho parece guardar relación con efectos de competencia entre las plantas de veza y el resto de leguminosas. Si se compara la evolución de las leguminosas silvestres en las cubiertas naturales con las sembradas se observa como la presencia de veza afecta a la densidad de leguminosas silvestres (Anexo 1.C). El tratamiento D presenta los valores más bajos de abundancia (relativa y absoluta) de leguminosas silvestres durante los últimos tres años, invirtiendo la tendencia de los años anteriores, y presentando diferencias significativas respecto a VS el sexto año, cuando en las cubiertas desbrozadas se registra la menor densidad de veza de toda la serie de estudio. Tomando la cubierta espontánea como referencia, parece ser que la presencia de veza a baja densidad, y especialmente si se controla con desbrozadora estimula una mayor densidad y un aumento progresivo de la especiación de las leguminosas.

Tabla 1.10. Diferencias en la composición y estructura familiar entre tratamientos de 2004 a 2009 en abril, y de 2007 a 2009 en el mes de junio.

	ANTES DEL PRIMER CONTROL DE LA CUBIERTA (ABRIL)																	
	VI						D						VS					
FAMILIA	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP
APIA	0,001	0,13	0,07B	0,02	0,04	0,04	0,03	0,64	1,26A	0,18	0,36	0,36	0,007	0,33	0,42AB	0,08	0,17	0,17
ASTER	15,3 B	20,4 B	44,5AB	124,2B	9,6 B	10,3B	12,8 B	20 B	40,8B	107,1 B	9,6 B	10 B	20,9 A	24,6 A	44,7 A	164,3 A	11,9 A	13,2 A
BORAG	0,07	1,82	2,82	0,42	0,57	0,57	0,07	1,72	1,93	0,35	0,46	0,46	0,05	1,62	1,06	0,28	0,35	0,35
CARIO	11,4 B	2,21 B	46,4	77,7	4,3	4,9	15,1 A	2,41 A	45,9	76,7	4,6	5,2	11,4 B	2,38 A	46,2	80,6	4,5	5,2
CONVO	0,33 B	2,17 B	46,2 A	2,36	1 A	1 A	0,83 A	2,33 B	41,6A	4,21	0,8 A	0,8 A	0,25 B	3,47 A	15,6 B	1,18	0,3 B	0,3 B
CRUCI	9,27 B	12,2	43,6 B	76 B	5	5,3	14,2 A	12,2	51 A	114,6 A	4,9	5,2	6,4 C	11,6	38,5 B	43,5 C	4,9	5,1
ESCRO	1,52AB	4,83 B	48,6	14,22	1,32 B	1,46B	1,05 B	4,39 B	51,5	10,8	1,4 B	1,53B	1,76 A	5,6 A	48,9	14,9	1,9 A	2A
EUFOR	0,01	0,06	0,08	0,02	0,05	0,07	0,01	0,21	0,32	0,07	0,18	0,2	0,03	0,1	0,13	0,04	0,02	0,03
FUMAR	0,14	0,01	10,2 A	0,54 B	0,45 A	0,5 A	0,09	0,02	12 A	0,54 B	0,4A	0,44 A	0,09	0,08	3,25 B	0,13 A	0,18 B	0,18 B
GERAN	8,09	3,68	65,3	63,2	1,46	1,56	8,93	2,85	76,2	65,8	1,2	1,2	9,58	3,3	65	76,7	1,46	1,46
GRAMI	22,1	14 A	54,6 B	169,1	4,3	6,1 A	22,9	12,7 B	64,5A	174,1	3,9	5,6 B	20,5	14,16A	55,9 B	152,5	4,2	6,2 A
LAMIA	1,14 B	1,44 B	66,8	9,12	1	1	0,99 B	2,52 A	76,2	11,8	1	1	1,65 A	1,42 B	75,3	12,7	1	1
LEGUM	23,2 A	20,1 A	54,9 A	177,2A	6,5	9	10,8 C	19,1AB	44,4C	79,2 C	6,2	8,5	17 B	17,9 B	49,6 B	116,4 B	5,7	8,1
LEGUSI	3,73 A	18 A	51,4 A	121,6	5,57	8,2	3,2 B	18 A	46,9B	107,3	5,8	8,4	3,5 A	15,8 B	46,3 B	104,9	5,2	7,5
MALVA	0,06	0,4	6,28	0,31	0,26	0,26	0,05	0,46	7,55	0,29	0,3	0,3	0,09	0,32	6,68	0,28	0,22	0,22
PAPAV	0,07 B	0,84 B	14,5AB	1,71	0,46 B	0,47B	0,16 A	1,38 A	21 A	2,08	0,7 A	0,7 A	0,06 B	0,77 B	10,9 B	1,38	0,42 B	0,43 B
POLIG	0,003	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,06	0,05	0,01	0,02	0,02	0,003	0,11	0,11	0,02	0,05	0,05
RESED	0,009	0,08	0,09	0,03	0,04	0,04	0,01	0,3	0,35	0,1	0,15	0,15	0,03	0,2	0,21	0,09	0,1	0,1
RUBIA	0,08 C	0,48	7,03 A	0,36AB	0,38	0,38AB	1,93 A	0,34	2,36B	0,18 B	0,27	0,27 B	1,55 B	0,79	11,1 A	0,58 A	0,5	0,5 A
	ANTES DEL SEGUNDO CONTROL DE LA CUBIERTA (JUNIO)																	
ASTER	13,1B	26,1B	15,9B	4,26B	4,1 B	4,1 B	18,5 B	29,6B	18 B	6,28 B	5 B	5,2 B	41,9A	37,5A	31,3A	100,2 A	11,4A	12,6A
CARIO													1,2	0,66	10,8	2,38	1,6	1,6
CONVO	6,13A	6,28A	32,4A	2,11A	0,7AB	0,7AB	5,75 A	5,67A	28,8A	1,73AB	0,8 A	0,8 A	0,42B	2,52B	11,9B	0,76 B	0,3 B	0,3 B
CRUCI	3,8 A	7,3	13,9A	1,97	1,1	1,1	4,3 A	6,82	13,8A	2,45	1,1	1,1	0,44B	5,54	8,5 B	0,9	1,6	1,6
GERAN	6,1	7,47A	22,8A	2,7AB	1 AB	1,1AB	2,54	4,04B	10,5B	1,98 B	0,5 B	0,7 B	3,3	4,4B	26,6A	6,5 A	1,3 A	1,3 A
GRAMI	25,2	20,5	22,2B	7,58B	3,4 B	3,4 B	24	20,9	20,8B	7,2 B	3,6 B	3,8 B	27,3	18,2	44,6A	59,5 A	4,4 A	6,2 A
LEGUM	3,82B	16,1B	8,76B	1,5 B	1,7 B	2 B	6,47 B	17,7B	11,8B	2,54 B	2,4 B	3,4 B	19,7A	25,8A	36,6A	47,4 A	5,3 A	8,6 A
MALVA							0,02 B	0,93AB	0,52B	0,07 B	0,2 B	0,2AB	0,16A	1,87A	6,07A	0,55 A	0,5 A	0,5 A

Las abreviaturas para las familias botánicas se pueden consultar en el Anexo 1.A. VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. AB (%): Abundancia relativa familiar individual (ABi) y específica (ABe); FR (%): frecuencia relativa familiar; DE: Abundancia absoluta familiar individual (individuos/m²); NºGE: Número de géneros; NºSP: Número de especies. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 1.11. Valores medios y diferencias entre tratamientos para la Abundancia (AB), Frecuencia (FR) y Densidad (DE) de las especies más importantes

	ANTES DEL PRIMER CONTROL DE LA CUBIERTA (ABRIL)									ANTES DEL SEGUNDO CONTROL DE LA CUBIERTA (JUNIO)								
	AB (%)			FR (%)			DE (individuos/m ²)			AB (%)			FR (%)			DE (individuos/m ²)		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
ALYSS	2,14	2,11	1,84	73,4	74,4	57,4	16,2	15,8	12,7									
ANDRI	0,33AB	0,29B	0,67A	31,5B	30,7B	52,9A	2,1B	2,4B	6A									
ANTHA	0,51AB	0,36B	0,86A	52,7	41,1	52,5	5,1A	2,77B	6,46A	0,35B	0,44B	3,67A	4,42B	3,44B	53A	0,34B	0,3B	8,9A
ARENS	0,47	0,57	0,83	41,6	36,8	45,1	2,3	1,9	3,1									
ASTRS											0,14AB	0,5 A		0,58B	17,7A		0,1 B	0,93A
AVENS	0,79AB	0,58B	1,38A	40,5	48,3	49,8	4,29	3,94	7,31	1,52	1,4	4,08	13,4B	14,6B	69,7A	0,97B	0,85B	9,8A
BROMD	8,45	8,57	6,68	85,4	81,9	81,9	73	79,8	56,3	2,93	1,8	5,57	18,4B	12,9B	39,3A	1,25B	1,15B	5,4A
BROMM	2,45	2,63	3,48	73,3	82,5	81,6	10,3B	9,84B	19,2A									
CALEA	6,68A	2,87A	1,66B	36AB	89,9A	19,4B	22,8A	11,6B	7,54B	2,84A	2,27AB	0,57B	4,91B	3,44B	25,2A	0,34	2	0,32
CAPSB	3,15B	5,59A	2,42B	66,7B	80,8A	65,8B	25,8B	41,3A	15,1C	0,71A	0,41B	0,03C	11,1A	5,9A	0,52B	0,12	0,03	0,00
CENTS	2,19B	2,07B	4,56A	69,3B	71,4B	76,9A	23,5B	20,9B	57,7A	4,87B	5,7 B	9,8 A	20,2B	23 B	89,3A	2,04B	2,05B	23,4A
CONVA	0,28B	0,95A	0,24B	34,3B	53,3A	27,3C	2,44B	4,28A	1,19C	3,97A	3,37A	0,36B	32,4	22,1	11,9	5,8	3,22	0,18
COROS	0,18	0,21	0,28	39,1	38,5	43,2	2,23B	1,84B	4,05A									
CREPV	0,16B	0,16B	1,57A	22,7B	17,5B	56,5A	0,57B	0,8B	2,83A	4,87	5,36	5,13	1,81B	2,23B	74,1A	0,18B	0,36B	16,7A
CREPF											0,02B	0,5 A		0,13B	13,3A		0,03B	1,1 A
DIPLV	2,8A	4,26A	1,03B	53,1A	57,8A	19,9B	1,78A	2,15A	0,43B									
ERODC	7,32B	7,7AB	9,64A	90,3	89,1	85,8	62,5	60,5	59,2	2,5	2	2,13	28,5AB	21,4B	45,7A	3,4	2,8	8,8
HIRSCH										0,36	0,63	0,18	4,42	7,08	4,42	0,37	0,55	0,43
HLOU	0,87	1,21	1,21	34	56,4	52,2	1,34B	3,11AB	4,5A									
HORDM	6,11	7,57	4,12	71,2B	85,7A	71,1B	71,5	79,1	42,4	8,77	5,96	8,38	36,3B	20,6C	77,1A	1,75B	0,96B	13,6A
LACTS	0,36	0,43	0,35	47	50,5	44,2	3,87	6,23	4,7	0,83A	1,4 A	0,12B	1,81B	9,5AB	21,5A	0,001B	0,05AB	0,16A
LAMIA	0,93B	1,14AB	1,38A	68,1	75,4	70,9	11,3	10,2	13,7									
LEONT												1,02			13,3			2,5
LOLIR	0,49B	1,32A	0,86B	32C	64,1A	48,6B	2,03B	11,3A	5,8B	0,46	1,77	0,6	2,53B	14,4AB	21,8A	0,38	1	1,38
MEDIM	7,77A	6,38B	8,01A	96,3	96,2	93,6	48AB	40,9B	54,5A	14 B	17,6B	30 A	3,81B	9,82B	84,8A	0,44B	0,73B	19,3A
MEDIP	2,18A	1,36B	2,47A	80,1	79,4	85,2	12,1B	8,12B	21,4A	0,31B	0,3 B	4,5 A	2,91B	5,3 B	74,4A	0,23B	0,42B	11,1A
MINUH	0,7	0,91	0,86	62,9	64,8	67,3	12,4	15,9	19,3									
PAPAR	0,16	0,26	0,18	14,7AB	22A	12,5B	1,44	1,94	1,1									
SENEV	2,44	2,71	3,2	56,8	69,4	61,8	27,1	29,5	30,2									
SONCO	0,56	0,57	0,53	57,5A	52,2AB	46,5B	5,04	5,19	4,18	2,2	0,84	0,84	17,1AB	4,78B	30,8A	1,02	0,4	2,02
STELM	5,86A	7,06A	2,84B	95,4A	89,3AB	82,5B	55,5	50,8	25,7									
TRIFS	0,95A	0,58B	0,59B	65,8A	55,9AB	45,8B	3,77A	2,07AB	1,61B	0,44B	0,33B	2,2A	30,8B	4,91 B	44,2A	0,38B	0,34B	5,26A
UROSP										0,1 B	0,13AB	0,56A	0,52B	1,9 B	22,7A	0,13B	0,19B	1,11A
VEROH	0,19	0,13	0,34	35,8	28,3	41,4	0,79	0,48	0,91									
VEROP	0,75	0,43	0,47	67,8	55	48,4	12,3	6,68	5,76									
VICIS	8,14A	0,37C	3,87B	87,1A	11,9C	75,8B	50A	0,69C	22,1B	0,46	0	0,51	4,89 B	0	22,1A	1,56A	0	0,24B

Abrev. Spp en Anexo 1.A. VI: veza labrada; D: natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B..)

Tabla 1.12. Esquematización de las tendencias significativas al alza (+) o la baja (-) entre tratamientos para los taxones más importantes (2004-2009).

		ABi	FR	DE	ABe	NºGE	NºSP		ABi	FR	DE	ABe	NºGE	NºSP		ABi	FR	DE	ABe	NºGE	NºSP		ABi	FR	DE	ABe	NºGE	NºSP	
VI	D	ASTER	=	=	+	-	+	+	CARIO	=	=	+	+	+	+	CONV	-	-	=	-	=	=	HORD	+	+	+			
D			+	+	+	+	+	+		-	=	=	=	=	+		+	-	=	-	-	=		+	+				
VS			=	+	+	=	+	+		+	+	+	=	+	+		-	+	-	=	-	-		=	+	+			
VI	D	ANDRI	-	=	=				AREN	=	=	=				ESCO	=	+	+	+	=	=	LOLI	=	=	-			
D			=	+	+					-	=	=					=	+	+	+	=	=		=	=	=			
VS			-	=	=					-	-	-					+	+	+	+	+	=		=	=	=	=		
VI	D	ANTH	-	-	-				HOLO	=	=	+				VERH	=	=	+				LEGU	-	-	+	=	+	+
D			-	=	=					=	+	=					=	=	+					-	+	+	=	+	+
VS			+	=	=					+	+	+					+	+	+					-	-	=	+	+	+
VI	D	CALEA	+	+	+				MINU	-	=	-				VERP	=	=	=				LEGS	-	=	=	=	+	+
D			+	+	+					-	-	-					=	=	=					=	+	=	+	+	
VS			=	+	=					-	=	=					=	=	=					-	=	+	+	+	
VI	D	CENTS	=	+	=				STEM	+	+	+				GERA	+	=	+	=	+	=	CORO	-	=	-			
D			=	+	=					-	=	+					+	+	+	=	=	+		-	=	=			
VS			=	+	+					=	+	+					+	+	+	-	=	=		=	=	=			
VI	D	CREPV	=	+	+				CRUCI	+	+	+	=	+	+	GRAM	-	=	=	=	+	+	MEDM	-	=	=			
D			=	=	+					+	+	+	=	+	+		=	+	+	+	+	+		-	+	+			
VS			+	+	+					=	+	+	=	+	+		-	+	=	-	+	+		-	=	+			
VI	D	LACTS	=	+	=				ALYSS	=	+	=				AVEN	=	+	=				MEDP	-	=	=			
D			=	+	+					=	+	+					=	+	+					=	+	+			
VS			=	+	+					=	+	=					=	+	=					+	+	+			
VI	D	SENE	=	+	+				CAPS	+	+	+				BROD	-	+	=				TRIFS	=	=	+			
D			=	+	=					-	+	=					=	+	+					=	+	+			
VS			=	+	=					+	+	+					-	+	=					+	+	+			
VI	D	SONC	+	=	+				DIPLV	+	+	+				BROM	=	+	=				VICIS	=	=	+			
D			=	+	+					+	+	+					=	+	+					-	-	-			
VS			=	+	+					=	+	=					=	+	=					-	-	-			
VI	D	LAMIA	=	=	+	+	=	=	PAPA	-	-	-	-	-	=	RUBIA	=	=	=	=	=	=	FUMA	=	=	=	=	=	=
D			-	=	+	-	=	=		-	=	=	=	=	=		=	=	-	-	=	=		=	=	=	=	=	=
VS			=	+	=	+	=	=		-	-	-	-	-	-		-	+	+	+	=	=		=	-	=	=	=	=

Las abreviaturas para las familias y especies botánicas se pueden consultar en el Anexo 1.A. VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. AB (%): Abundancia relativa familiar individual (ABi) y específica (ABe); FR (%): frecuencia relativa familiar; DE: Abundancia absoluta familiar individual (individuos/m²); NºGE: Número de géneros; NºSP: Número de especies. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.)

Geraniáceas

Esta familia está representada básicamente por *Erodium cicutarium* (Anexo 1.C), seguida de lejos por *Geranium molle*, sobre todo en VI y VS (Anexo 1.A). Menos frecuente es *Erodium malacoides*, registrado de 2006 a 2009 en VI y D, en abril y en junio. Del inicio al fin, la abundancia y densidad de esta familia tiende a incrementar en todos los tratamientos, así como su frecuencia en D y VS. En cuanto a la abundancia familiar específica, se reduce significativamente del inicio al fin en VS respecto a D y VI; aunque es en VI, donde la abundancia específica aumenta en los últimos años y con valores mayores respecto a VS el sexto año. *Erodium cicutarium*, según la Tabla 1.11, presenta una abundancia relativa significativamente mayor en VS y menor en VI. Esta especie aumenta su importancia en todas las cubiertas, alcanzando el cuarto año un pico y valores máximos para el tratamiento VS, reduciéndose su importancia significativamente durante los dos últimos años, sobre todo en VS. Es propia de comunidades arvenses y ruderales escionitrófilas y tolera la sombra. Su floración de noviembre a mayo y su crecimiento rosulado le permite escapar a la altura de la desbrozadora así como volver a germinar tras el laboreo.

Lamiáceas

Esta familia está representada por la especie *Lamium amplexicaule* (Anexo 1.A), y durante el ensayo, incrementa de forma significativa su densidad en todas las cubiertas (Anexo 1.C). Sin embargo, del tercer al cuarto año de estudio, la abundancia y la frecuencia relativa de esta familia se reduce significativamente en VS (Anexo 1.C), mientras se alcanzan los valores máximos y significativamente superiores frente a VI. El sexto año, la abundancia relativa es significativamente mayor en las cubiertas desbrozadas que en las labradas. Durante el estudio, esta familia aumenta su frecuencia relativa en VS, y reduce su importancia relativa en D (ABi y ABe). Igualmente, la densidad de Lamiáceas en las cubiertas labradas aumenta del primer al sexto año (Tabla 1.12). Si atendemos a las diferencias entre tratamientos (Tabla 1.10) éstas se presentan para los indicadores de abundancia individual y específica, la primera significativamente mayor en VS, y la segunda en D. Asimismo, la abundancia relativa es significativamente superior en VS frente a VI según la Tabla 1.11.

Rubiáceas

Las rubiáceas están representadas únicamente por la especie *Gallium tricornutum*, planta anual de amplia distribución y fenología primaveral. Hasta el tercer año de ensayo, esta familia tiende a aumentar su densidad en VS (Anexo 1.C). Del tercer al cuarto año, se produce una tendencia significativa al alza de la frecuencia en los tratamientos VI y VS, alcanzando valores significativamente superiores respecto a D, y con valores máximos de densidad en las cubiertas sembradas. Durante el estudio, todos los indicadores excepto la abundancia específica, siguen una tendencia al alza en el tratamiento VS, con diferencias significativas entre el primer y el último año de ensayo (Tabla 1.12). En el caso de las cubiertas labradas no se observa ninguna tendencia clara, sin embargo, en base a los resultados que pueden verse en la Tabla 1.10, el tratamiento VI presenta una abundancia significativamente inferior a VS y D, y a su vez VS significativamente inferior a D. En cuanto a la frecuencia, ésta resulta ser significativamente mayor en los tratamientos VI y VS frente a D. Sin embargo, en el tratamiento D se presenta una densidad significativamente menor a la de VS.

Papaveráceas

Hasta el tercer año de estudio, se produce una acusada reducción de individuos de esta familia en VI y sobre todo en VS. Esta familia presenta un máximo el tercer año, cuando resulta significativamente más importante en el tratamiento D que en VI y VS. Esta familia reduce significativamente su abundancia (relativa y absoluta) en todos los tratamientos durante el estudio, aunque de forma menos acusada en D. El tratamiento D mantiene valores similares de frecuencia durante el estudio, mientras que en VI y VS esta reducción es significativa. La abundancia relativa específica sigue una tendencia a la baja en VI y VS durante los seis años, mientras que el tratamiento D, muestra el sexto año, valores significativamente superiores al resto. Según la Tabla 1.10, el tratamiento D obtienen valores significativamente mayores para su abundancia relativa individual y específica y frecuencia, su representante es *Papaver rhoeas* y de forma puntual *Papaver dubium*. Según la Tabla 1.11 *Papaver rhoeas* resulta significativamente más frecuente en las cubiertas espontáneas.

Convolvuláceas

La familia de las convolvuláceas, es significativamente más importante en las cubiertas naturales el primer año de estudio, e incrementa su densidad para todos los tratamientos al inicio del ensayo, así como su frecuencia en el tratamiento VI y D (Anexo 1.C). Sin embargo, los últimos cuatro años, se caracterizan por una tendencia paulatina a la baja de la importancia de las convolvuláceas en todos los tratamientos, con diferencias significativas entre el segundo y el sexto año. Del primer al último año de estudio se ha producido una tendencia significativa a reducir la abundancia, la frecuencia y la densidad de convolvuláceas en el tratamiento D y VS (Tabla 1.12). En el caso del tratamiento VI, la única tendencia en los seis años de estudio es reducir la abundancia relativa de convolvuláceas y mantener los valores del resto de indicadores. Las diferencias entre tratamientos (Tabla 1.10) se revelan para los indicadores de abundancia y frecuencia relativa, siendo significativamente más altos en las parcelas con cubierta natural. Si atendemos a las diferencias para *Convolvulus arvensis* (Tabla 1.11), éste es significativamente más importante en el tratamiento D.

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FLORÍSTICA ANTES DEL 2º CONTROL DE LA CUBIERTA

Si se analizan los datos de forma conjunta, las principales diferencias entre los levantamientos florísticos de los meses de abril y junio, son la reducción en el número de familias inventariadas y/o la reducción de su importancia (Tabla 1.14), sobre todo en términos de frecuencia, densidad y número de especies (Tabla 1.10). Hay ciertas familias que en junio ya no se registran en ningún tratamiento como es el caso de las Fumariáceas. Otras, se presentan en junio, tan solo en VS, de forma puntual, éstas son las Escrofulariáceas, Apiáceas, Resedáceas, Papaveráceas y Rubiáceas. Por otra parte, están aquellas que tan solo se registran el quinto año, y son significativamente más importantes en el tratamiento VI frente a VS, como son las Borragináceas, Euforbiáceas y Lamiáceas (Figura 1.3). Algunas familias aparecen sólo en las cubiertas labradas en junio de 2008 son, Amarantáceas, Chenopodiáceas y Solanáceas (Figura 1.3 y Tabla 1.13). Las principales diferencias que se observan en junio, entre el quinto y sexto año para las cubiertas labradas, se deben a la lluvia ocurrida entre el primer y el segundo control de la cubierta (Figura 1.3 y Anexo 1.B). Esto es, 66 mm el quinto año, y 9,4 mm el sexto.

El cuarto año, aunque no se realizó el levantamiento florístico, sí se listaron las especies presentes, como Amarantáceas, Chenopodiáceas, Solanáceas, Borragináceas, Cyperáceas y Polygonáceas y una pluviometría de 82,6 mm de abril a junio. Así pues, la aparición de familias con representantes estivales, se ve favorecida el quinto año por la labor y la lluvia entre controles, estando ausentes en el tratamiento VS, así como el sexto año en VI y D (Figura 1.3 y 1.4). El sexto año de estudio, la cobertura en los tratamientos de D y VI es escasa, por lo que la vegetación registrada corresponde en su mayoría al tratamiento VS. Las cubiertas desbrozadas no muestran diferencias tan evidentes entre el muestreo del quinto y sexto año a pesar de la lluvia ocurrida (Figura 1.4), tan solo para el caso de las Cariofiláceas casi ausentes el sexto año.

Figura 1.3. Abundancia relativa familiar individual en las cubiertas sembradas y labradas (VI) el quinto y sexto año de ensayo en abril y junio.

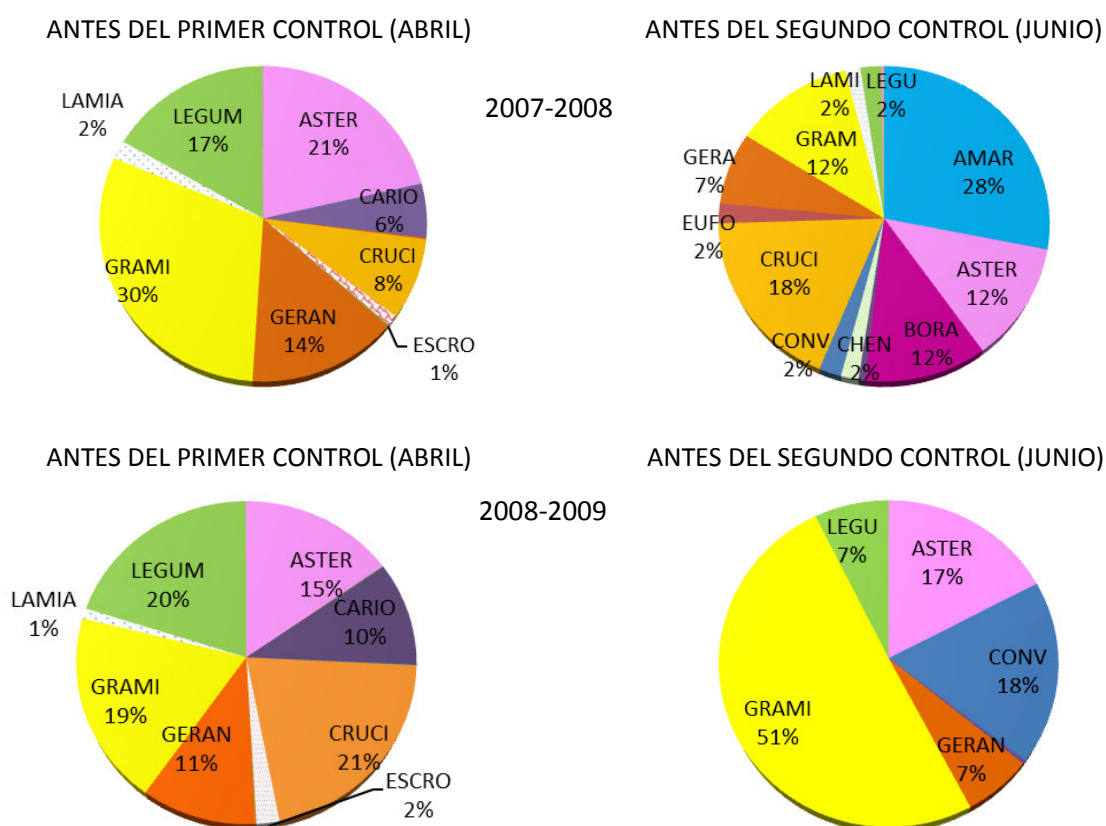


Figura 1.4 Abundancia relativa familiar individual de las cubiertas desbrozadas el quinto (izquierda) y sexto año de ensayo (derecha) en el mes de junio.



Al analizar los datos de forma conjunta (2008 y 2009), se observa como las Asteráceas y las leguminosas, son más importantes en las parcelas desbrozadas con diferencias significativas respecto a las labradas (Tabla 1.10). Además, las Asteráceas, experimentan una menor reducción de su importancia respecto al mes de abril en VS. También las gramíneas son muy importantes en el mes de junio, pero con valores significativamente superiores en VS (FR, DE, N°GE, N°SP). Las Asteráceas, leguminosas y gramíneas aumentan su abundancia relativa en todos los tratamientos en junio. La familia de las malváceas aparece en los muestreos de junio tan solo en los tratamientos D y VS, siendo en este último donde es significativamente más importante. Por el contrario, la familia de las convolvuláceas se perfila como característica de los tratamientos D y VI, donde su importancia es significativamente mayor respecto a VS. Además, aumenta su importancia relativa respecto a abril en D y VI. También las crucíferas se presentan de forma significativamente más abundante y frecuente en las cubiertas labradas frente al tratamiento VS, aunque reducen su importancia relativa respecto al mes de abril. En cuanto a las geraniáceas, presentan valores significativamente inferiores en el tratamiento D (ABe, FR, DE, N°GE, N°SP) y una frecuencia relativa significativamente mayor en los tratamientos VI y VS. Respecto al muestreo de abril, esta familia muestra un descenso de la abundancia relativa individual y un aumento de la abundancia relativa específica. Antes del segundo control de la cubierta, la familia de las Cariofiláceas aumenta su abundancia relativa individual VS, mientras reduce su abundancia relativa específica y su densidad.

Antes del segundo control de la cubierta, las especies más importantes ($AB \geq 1$ y $FR \geq 50$) no son las mismas que en abril (Tabla 1.9). Tan solo el 58% de las especies que en abril cumplían esta condición, lo hacen también en junio, la mayor parte en VS el quinto año de ensayo. Por otro lado, las especies que resultan ser importantes en todos los tratamientos ensayados en el mes de junio el quinto año de ensayo son *Hordeum murinum*, *Centaurea solstitialis* y *Erodium cicutarium*. El resto de especies tienen preferencias por el tipo de tratamiento (Tabla 1.13).

También aparecen, antes del segundo control de la cubierta, nuevas especies que no habían sido registradas en abril debido a su periodicidad, y que pasan a ser importantes en el mes de junio, estas son *Amaranthus blitoides*, *Heliotropium europaeum*, *Chamaesyce nutans*, *Chenopodium album* y *Lolium perenne*. Estas especies aparecen exclusivamente en las cubiertas labradas, excepto *Lolium perenne* que resulta característica de las desbrozadas. En el tratamiento D, aparece como importante la crucífera *Hirschfeldia incana*, especie que ya fue registrada en abril y aumenta su importancia en junio. En el caso de las cubiertas desbrozadas, las especies registradas como importantes en junio, y que no lo eran en abril son, *Centaurea melitensis*, *Urospermum picroides*, *Crepis foetida*, *Trifolium scabrum* y *Leontodon longirostris*. El sexto año, la falta de precipitaciones entre los dos controles de la cubierta marca las principales diferencias registradas entre tratamientos en el mes de junio. En el caso de las cubiertas espontáneas no aparece ninguna especie con una abundancia superior al 1% y una frecuencia superior al 50% en junio de 2009. En cambio para el tratamiento VI las especies que cumplen con esta condición son únicamente *Hordeum murinum* y *Convolvulus arvensis*. En cuanto a las cubiertas desbrozadas, el sexto año, se añaden a la lista de especies importantes, especies que el año anterior no lo eran, como *Andryala integrifolia*, *Calendula arvensis*, *Crepis foetida*, *Sonchus oleraceus*, *Leontodon longirostris* y *Lolium perenne*. Todas ellas excepto la primera, no son especies importantes del tratamiento VS en el mes de abril. En base a la Tabla 1.11, y de forma general, las especies que en el mes de abril ya se registraron en VS, pero que

aumentan sus valores de frecuencia y abundancia en el mes de junio son *Anthemis arvensis*, *Astragalus stella*, *Avena sterilis*, *Crepis foetida*, *Crepis vesicaria*, *Hirschfeldia incana*, *Leontodon longirostris*, *Trifolium scabrum* y *Urospermum picroides*. Todas ellas con una floración primaveral tardía.

La falta de repeticiones y las dispares condiciones climáticas entre el quinto y sexto año, impiden realizar el análisis combinado de las especies importantes en el mes de junio, por lo que no aparecen reflejadas en la Tabla 1.11, sin embargo, sí se pueden consultar las diferencias anuales entre tratamientos para todas ellas en la Tabla 1.14 y el Anexo 1.B.

Tabla 1.13. Especies importantes según tratamiento ($AB \geq 1\%$ Y $FR \geq 50\%$).

Junio de 2008	TTO
<i>Capsella bursa-pastoris</i> ; <i>Lamium amplexicaule</i> ; <i>Chenopodium album</i> ; <i>Hordeum murinum</i> , <i>Centaurea solstitialis</i> y <i>Erodium cicutarium</i>	VI
<i>Hirschfeldia incana</i> ; <i>Lactuca serriola</i> ; <i>Lolium rigidum</i> ; <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Erodium cicutarium</i>	D
<i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Centaurea melitensis</i> ; <i>Crepis vesicaria</i> ; <i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Medicago polymorpha</i> ; <i>Trifolium scabrum</i> ; <i>Urospermum picroides</i>	VS
<i>Amaranthus blitoides</i> ; <i>Chamaesyce nutans</i> ; <i>Convolvulus arvensis</i> ; <i>Diploaxis virgata</i> ; <i>Heliotropium europaeum</i>	VI-D
<i>Avena sterilis</i>	VI-VS
<i>Medicago minima</i> y <i>Bromus diandrus</i>	VS-D
Junio de 2009	TTO
<i>Convolvulus arvensis</i> ; <i>Hordeum murinum</i>	VI
<i>Andryala integrifolia</i> ; <i>Anthemis arvensis</i> ; <i>Avena sterilis</i> ; <i>Calendula arvensis</i> ; <i>Centaurea solstitialis</i> ; <i>Crepis foetida</i> ; <i>Crepis vesicaria</i> ; <i>Erodium cicutarium</i> ; <i>Hordeum murinum</i> ; <i>Leontodon longirostris</i> ; <i>Lolium perenne</i> ; <i>Medicago minima</i> ; <i>Medicago polymorpha</i> ; <i>Sonchus oleraceus</i> ; <i>Trifolium scabrum</i> ; <i>Urospermum picroides</i>	VS

TTO: Tratamiento. VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada.

Tabla 1.14. Diferencias anuales entre tratamientos para la estructura familiar individual antes del segundo control de las cubiertas vegetales.

	QUINTO AÑO DE ENSAYO (2007-2008)																	
	VI						D						VS					
FAMILIA	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP
AMARA	25,5	4,28	70,3	25,5	1	1	31,0	3,69	79	34,1	1	1	0	0	0	0	0	0
ASTER	10,9B	26,3B	20,8B	8,68B	6 B	6B	10,2B	26,5B	23,7AB	11,9B	6,5B	7,2B	37,3A	39,2A	34,1A	99,4A	11A	12,2A
BORAG	10,5A	5,28	16,1A	11,2A	1,2 A	1,2A	4,68B	3,69	6,55B	5,14A	1A	1A	0,00C	0,75	0,52C	0,07B	0,2B	0,2B
CARIO	0,58	0,83B	0,15B	0,19B	0,2 B	0,2B	5,38	0,86B	0,15B	0,07B	0,2B	0,2B	21,9	4,73A	11,1A	2,44A	1,4A	1,4A
CHENO	1,51	4,28	21,7	1,61A	1	1	0,71	2,69	6,36	0,94AB	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0
CONVO	1,92	4,28A	30,81	2,01	0,4	0,4	1,35	3,69AB	30,32	1,53	0,7	0,7	0,22	2,38B	6,07	0,4	0,2	0,2
CRUCI	16,6A	12,7A	46,5A	11,1A	2,9	2,9	15A	11A	40A	11,5A	3	3	0,44B	6,12B	11,8B	0,2B	1,7	1,8
EUFOR	1,85A	4,9A	10,8A	3,08	1A	1A	0,81AB	1,8B	11,2A	2,58	0,7AB	0,7AB	0,00B	0,75B	1,2B	0,08	0,2B	0,2B
GERAN	6,71	5,11	68,8	6,96	1	1,2	5,69	5,52	55,36	7,06	1	1,4	4,13	3,97	66,2	6,8	1	1
GRAMI	11 B	15,8	30,2B	10,7B	3,7	3,7B	12,5B	14,7	34,4 B	13,8B	4	4B	38A	16,8	54A	101A	4	5,2A
LAMIA	1,38A	3,14	33,3A	0,27A	0,7	0,7	0,43AB	2,7	12,5AB	0,03AB	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0
LEGUM	1,82B	9,75C	12,7B	1,6B	1,9B	2,2B	4,17B	17,4B	15,9 B	5,15B	3,3AB	4,6A	17A	28A	37,1A	45,2A	5,2A	8,6A
MALVA	0	0	0	0	0	0	0,1	1,86	2,08	0,15	0,4	0,4	0,08	1,61	3,03	0,37	0,4	0,4
SOLAN	0,34	3,14	5,78A	0,5	0,7A	0,7A	0,53	0,83	2,54AB	0,57	0,4AB	0,4AB	0	0	0	0	0	0
	SEXTO AÑO DE ENSAYO (2008-2009)																	
ASTER	15,5B	25,8	11,7B	1,98B	2,7B	2,7B	29,2AB	32,7	13,1AB	3,2B	3,7B	3,7B	46,7A	35,9	28,6A	101A	12A	13,2A
CARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	5,3	10,52	2,33	1,8	1,8
CONVO	16,3A	8,88A	34,16	2,22	1	1	18,4A	8,63A	27,3	1,95	1	1	0,66B	2,7B	19,67	1,31	0,5	0,4
CRUCI	0,31	1,92	1,12	0,08B	0,2B	0,2B	0,75	2,56	1,9	0,22AB	0,2B	0,2B	0,45	4,96	6,64	1,16A	1,4A	1,4A
GERAN	5,71	9,83A	8,33B	0,78B	1 A	1B	0,64	2,56B	61,4B	0,11B	0,2B	0,2C	3,62	4,84AB	39,6A	6,3A	0,7A	1,7A
GRAMI	45,1A	29,2	16,4B	5,54B	3,1B	3,1B	39,1A	31,6	12,7B	4,2B	3,2B	3,7B	18,3B	20,1	37A	39A	5A	7,4A
LEGUM	6,56B	22,6	5,5B	1,4B	1,5B	1,9B	9,3AB	17,9	8,33B	1,04B	1,7B	2,5B	22,6A	23,6	36,1A	4,5A	5,4A	8,6A
MALVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	2,12	10,14	0,76	0,7	0,7

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. AB (%): Abundancia relativa familiar individual (ABi) y específica (ABe); FR (%): frecuencia relativa familiar; DE: Abundancia absoluta familiar individual (individuos/m²); NºGE: Número de géneros; NºSP: Número de especies. ANOVA, diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

ANÁLISIS DE FORMAS VITALES ANTES DEL PRIMER CONTROL DE LA CUBIERTA

Al analizar la flora de las cubiertas ensayadas, clasificando a los individuos según su forma vital, se observa que la forma predominante en todos los tratamientos ensayados son los terófitos, alcanzando una abundancia relativa en torno al 85% en todas las cubiertas (Tabla 1.15). Concretamente, son los terófitos cespitosos y trepadores los que presentan diferencias significativas entre tratamientos, tanto para su abundancia relativa como absoluta.

Tabla 1.15. Composición y estructura florística a nivel de biotipo en el mes de abril ('04-'09).

	ABUNDANCIA (%)			FRECUENCIA (%)			DENSIDAD (Indiv./m ²)		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
T.C	0,29A	0,05B	0,06	2,45	1,24	0,3	1,37A	0,21B	0
T.E	48,5	51,4	49,8	100	100	100	467,9	542,6	460,6
T.RA	24,6	23,8	20,8	100	100	100	172,3	138,3	145,2
T.RO	7,3	7,6	9,7	95,7	99,27	92	62,8	60,9	60,8
T.TR	8,17A	0,31C	4,04	87,6	15,69	80,77	71,8A	1,16C	29,6B
T/H.C	0,4B	0,27B	5,3A	5,8A	5,85A	1,79B	0,5	0,43	0,25
T/H.E	4,1B	6,7A	3,87	78,79	86,98	78,6	35,3B	53,01A	28,1B
T/H.RA	0,29	0,66	0,5	1,17	0,27	1,21	0,37	0,09	0,45
T/H.RO	0,53B	0,52B	2,98	44,3B	31,7B	84,4A	4,21B	3,95B	17,86
H/G.RA	0,61	0,37	1,2	3,49	3,59	2,81	0,36	0,41	0,38
H/G.RO	0,275	0,346	0,544	3,83B	3,73B	14,4A	0,31B	0,47AB	1,12A
G	0,51	0,76	0,67	37,4AB	49,5A	29,3B	2,57	4,59	3,71

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; H/G: Hemicriptófito/Geófito; G:Geófito; C: cespitoso; E: erecto; RA: rastrero; RO: rosulado; TR: trepador. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 1.16. Esquematización de las tendencias significativas al alza (+) o a la baja (-) a nivel de biotipos de 2004 a 2009. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$).

Biotipo	Tratamiento	AB	FR	DE	Biotipo	Tratamiento	AB	FR	DE
T.C	VI	+	=	+	T/H.E	VI	=	+	+
	D	=	=	+		D	=	=	+
	VS	=	=	=		VS	=	+	+
T.E	VI	=	=	+	T/H.RA	VI	+	+	+
	D	+	=	+		D	=	=	=
	VS	-	=	+		VS	+	=	+
T.RA	VI	-	=	+	T/H.RO	VI	-	-	=
	D	-	=	+		D	=	=	=
	VS	=	=	+		VS	+	+	+
T.RO	VI	+	+	+	H/G.RA	VI	-	+	=
	D	+	+	+		D	=	+	=
	VS	+	+	+		VS	+	+	=
T.TR	VI	=	=	+	H/G.RO	VI	-	=	=
	D	-	=	-		D	=	+	+
	VS	-	-	=		VS	+	+	+
T/H.C	VI	=	=	=	G	VI	=	=	=
	D	-	=	=		D	-	-	=
	VS	=	=	=		VS	=	=	=

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. AB (%): Abundancia; FR (%): frecuencia; DE: Densidad (Indiv./m²) T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; H/G: Hemicriptófito/Geófito; G:Geófito; C: cespitoso; E: erecto; RA: rastrero; RO: rosulado; TR: trepador.

En base a los datos de la Tabla 1.15, 1.16 y del Anexo 1.C, se desprende que el tratamiento VI favorece la presencia de Terófitos cespitosos, ya que se registran de forma significativamente más abundante, a la vez que aumentan significativamente los indicadores de abundancia del inicio al fin del estudio, con valores máximos el sexto año y superiores a los de D y VS. Durante el ensayo, los Terófitos cespitosos también muestran una tendencia significativa al alza de su densidad en el tratamiento D. En relación a los Terófitos trepadores, éstos resultan ser significativamente más importantes en VI, seguido por VS y en último lugar D, esto se debe a que la principal representante es la especie sembrada *Vicia sativa*. Asimismo, la tendencia de este biotipo es la de disminuir significativamente su importancia en D y VS durante el ensayo. Por otro lado, encontramos las plantas anuales que no presentan diferencias para ningún indicador de forma absoluta (Tabla 1.15) pero sí tendencias diferenciales en el tiempo (Tabla 1.16 y Anexo 1.C). Por un lado, los Terófitos erectos, muestran preferencia por el tratamiento D, aunque al inicio son más importante en las cubiertas desbrozadas. Sin embargo, esta tendencia se invierte, y el sexto año de ensayo, la abundancia (AB, DE) define tres grupos diferenciados, con valores mayores para el tratamiento D, seguido de VI y por último VS. En cuanto a los Terófitos rastreros y rosulados, tienden a aumentar significativamente su densidad en todos los tratamientos durante el ensayo. De 2004 a 2007, la tendencia de los Terófitos rosulados es la de aumentar significativamente su abundancia en VS; no obstante, al fin del ensayo, los indicadores presentan valores similares en todos los tratamientos. Por otro lado, los Terófitos rastreros, al inicio del ensayo tienden a incrementar su abundancia (AB, DE) significativamente en todas las cubiertas, con preferencia por las labradas. Sin embargo, durante los dos últimos años, aumentan su importancia de forma más acusada en VS, con valores de abundancia significativamente mayores en VS frente a D.

Los Terófitos/Hemicriptófitos erectos, presentan valores de abundancia y densidad significativamente mayores en D, frente a VS y VI (Tabla 1.15). Durante el ensayo, este biotipo aumenta significativamente su densidad en todos los tratamientos, e incrementa su frecuencia en VS y VI. Por otro lado, los Terófitos/Hemicriptófitos rastreros aunque no presentan diferencias entre tratamientos, sí aumentan su abundancia, tanto relativa como absoluta, en las cubiertas sembradas con veza (VI y VS), con valores para el sexto año significativamente mayores a los de D (Anexo 1.C). Para el caso de los Terófitos/Hemicriptófitos rosulados, éstos son significativamente más importantes en las cubiertas desbrozadas que en las labradas. Asimismo, la tendencia durante el ensayo, es a aumentar significativamente su abundancia en el tratamiento VS, con valores significativamente mayores a los de D y VI, durante los tres últimos años (Anexo 1.C). En cuanto a los Terófitos/Hemicriptófitos cespitosos resultan ser significativamente más abundantes en el tratamiento VS, y significativamente más frecuentes en VI y D. Durante el tiempo de ensayo, se produce una disminución significativa de su abundancia relativa en el tratamiento D y VI (Tabla 1.16). Asimismo, el sexto año de ensayo, la abundancia relativa es significativamente mayor en VS. En cuanto a las formas que tienden a perennizar, el biotipo que presenta diferencias entre tratamientos es el de los Hemicriptófitos/Geófitos rosulados que resultan ser más abundantes y frecuentes en el tratamiento VS frente a VI y D. Asimismo, durante el ensayo, la tendencia de este biotipo ha sido la de aumentar significativamente su abundancia, frecuencia y densidad en VS, y su frecuencia y densidad en D. El sexto año de ensayo, la frecuencia y densidad en VS es significativamente mayor en VS frente a VI (Anexo 1.C). Por otro lado, los

Hemicriptófitos/Geófitos rastreros, aumentan durante los seis años de estudio, la densidad y la frecuencia en todos los tratamientos, aunque es el quinto y sexto año cuando se alcanzan los valores más altos en las cubiertas labradas. La abundancia relativa aumenta significativamente en VS del inicio al fin, mientras que en VI tiende a reducirse. En cuanto a los geófitos, su frecuencia es significativamente mayor en el tratamiento D frente a las cubiertas sembradas. A pesar de que al inicio del ensayo, los geófitos son más importantes en D, el cuarto año cambia esta tendencia. Del inicio al fin del ensayo, este biotipo disminuye significativamente su abundancia y frecuencia relativa en el tratamiento D.

ANÁLISIS DE FORMAS VITALES ANTES DEL SEGUNDO CONTROL DE LA CUBIERTA

Tabla 1.17. Composición y estructura florística a nivel de biotipo en el mes de junio ('04-'09).

BIOTIPO	ABUNDANCIA (%)			FRECUENCIA (%)			DENSIDAD (Indiv./m ²)		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
T.E	68,4A	64,8A	45,6B	100	100	100	38,1B	40,2B	114,6A
T.RA	4,19B	6,81B	19,6A	41,5	72,6	76,5	2,64B	2,24B	28,3A
T.RO	5,55	2,55	5,18	29,6B	30,8B	79,6A	1,51B	1,13B	8,46A
T.TR	0,54	0	0,8	1,38B	0	9,66A	0,22B	0	2A
T/H.E	2,82	3,54	2,12	13,8B	19,2B	100A	1,06B	1,23B	4,31A
T/H.RA	0	0	0,16	0	0	1,57	0	0	0,33
T/H.RO	0,2B	0,42B	13,6A	3,88B	3,44B	100A	0,09B	0,22B	36,1A
H/G.RA	0	0,06B	0,205A	0	0,26B	1,56A	0B	0,06B	0,38A
H/G.RO	3,25	0	2,88	1,9	8,25	3,81	0,13B	0,58A	0,34AB
G	8,56A	9,86A	2B	35,7	45,3	36,8	2,02	1,98	3,05

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada; T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; H/G: Hemicriptófito/Geófito; G:Geófito; C: cespitoso; E: erecto; RA: rastrero; RO: rosulado; TR: trepador. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B...).

El cambio en la composición y estructura florística de las cubiertas tras el primer control, queda reflejado en el análisis de formas vitales. De este modo, en el mes de junio, aunque el biotipo predominante sigue siendo el de los Terófitos erectos, la reducción en el número de individuos terófitos respecto a abril es de un 94,5% para el caso de las cubiertas labradas (85% una primavera húmeda y 99,9% si ésta es seca), y de un 78% en las cubiertas desbrozadas (entre 70% y 86% en función de la lluvia). Esta reducción de individuos sucede también para el resto de biotipos, excepto para el caso de los Terófitos/Hemicriptófitos rosulados, que doblan su densidad en VS respecto al mes de abril, a la vez que aumenta su abundancia relativa y su frecuencia. Este biotipo es característico del tratamiento VS tanto en abril como en junio, representado por especies como *Leontodon longirostris*, *Crepis vesicaria* y *Andryala integrifolia*. El único biotipo que no presenta diferencias para su densidad entre el tratamiento VS y las cubiertas labradas en el mes de junio es el de los Hemicriptófitos/Geófitos rosulados, que además han aumentado ligeramente tanto su frecuencia como su densidad en el tratamiento D respecto al mes de abril, con la especie *Chondrilla juncea* como principal representante. En cuanto a los Terófitos trepadores, éstos han reducido su densidad un 94% en VS y un 99,9% en VI. Este biotipo representado mayoritariamente por *Vicia sativa*, en el mes de junio se encuentra prácticamente ausente en todas las cubiertas, aunque con una frecuencia y densidad significativamente mayor en VS. Sin embargo, no se puede decir que la veza haya tenido capacidad de rebrote tras el desbrozado. Las plantas geófitas, entre el primer

y el segundo control han reducido ligeramente su densidad en todas las cubiertas, pero manteniendo una frecuencia muy similar respecto al mes de abril, con un ligero aumento en el tratamiento VS. Los geófitos registrados en junio son *Convolvulus arvensis* y *Silene vulgaris*, la primera con preferencia por las cubiertas labradas, y la segunda por las desbrozadas. La abundancia relativa de geófitos es significativamente mayor en las cubiertas labradas. Los Terófitos/Hemicriptófitos rastreros, en el mes de junio aparecen únicamente en las cubiertas desbrozadas y se mantienen con valores similares para su densidad respecto a abril, y una frecuencia ligeramente superior, están representados por *Geranium molle*.

INDICADORES DE RIQUEZA, DIVERSIDAD, DOMINANCIA Y EQUIDAD

Se sigue profundizando en la estructura florística de las cubiertas ensayadas a través del cálculo de los indicadores de la Tabla 1.18 y 1.19. Las diferencias estadísticas anuales se pueden consultar en el Anexo 1.B y la evolución temporal en el Anexo 1.C.

Tabla 1.18. Diferencias entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipo de 2004 a 2009.

		ANTES 1 ^{er} CONTROL ('03-'09)			ANTES 2 ^o CONTROL ('07-'09)		
		VI	D	VS	VI	D	VS
Riqueza	Familia	12,3 AB	12,87A	11,8B	7,87	7,6	8,93
	Género	39,2	38,7	40	16,2 B	16,4 B	29,5 A
	Especie	47,15	45,46	47,5	17,6 B	19,5 B	35,3 A
	Biotipo	9,12A	8,29B	8,71AB	6 B	6 B	9,3 A
Diversidad Shannon	Familia	1,73	1,71	1,73	1,54 A	1,53 B	1,28 B
	Género	2,48AB	2,4 B	2,58A	1,81	1,88	1,65
	Especie	2,6 B	2,53B	2,75A	2,16 B	2,2 B	2,67 A
	Biotipo	1,26A	1,09B	1,3A	0,91 B	0,94 B	1,38 A
Diversidad Máxima	Familia	2,5AB	2,55A	2,45 B	2 AB	1,94 B	2,17 A
	Género	3,64	3,64	3,67	2,71 B	2,73 B	3,38 A
	Especie	3,83	3,8	3,84	2,76 B	2,87 B	3,56 A
	Biotipo	2,2A	2,1B	2,15AB	1,74 B	1,76 B	2,23 A
Diversidad Simpson	Familia	0,78	0,76	0,77	0,73 A	0,73 A	0,66 B
	Género	0,86	0,85	0,87	0,92 B	0,93 AB	0,96 A
	Especie	0,87AB	0,86 B	0,89 A	0,84 AB	0,83 B	0,89 A
	Biotipo	0,63A	0,55B	0,62A	0,46 B	0,46 B	0,67 A
Dominancia a Simpson	Familia	0,21	0,23	0,22	0,25 B	0,25 B	0,32 A
	Género	0,13	0,14	0,12	0,07 AB	0,09 A	0,04 B
	Especie	1,5A	0,13AB	0,1 B	0,14	0,14	0,09
	Biotipo	0,36B	0,44A	0,37B	0,53 A	0,53 A	0,32 B
Equidad Pielou	Familia	0,7	0,67	0,7	0,77 A	0,8 A	0,6 B
	Género	0,69AB	0,67 B	0,714A	0,66 A	0,68 A	0,5 B
	Especie	0,69AB	0,68 B	0,73 A	0,78	0,78	0,75
	Biotipo	0,57A	0,52B	0,6A	0,53 B	0,54 AB	0,62 A

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Atendiendo a las diferencias expuestas en la Tabla 1.18, se puede decir, de forma general que el tratamiento D es el que resulta en unos valores menores para los indicadores de Riqueza, Diversidad y Equidad, este último con una clara tendencia a la baja durante el estudio (Tabla 1.19), mientras que presenta los mayores valores para el Índice de Dominancia. Al contrario sucede el primer año de estudio, cuando los valores de Riqueza y Diversidad son significativamente mayores en el tratamiento D frente a VI y VS, mientras que el Índice de Dominancia es significativamente menor en D (Anexo 1.B). Este hecho puede estar relacionado con la siembra y establecimiento de la veza, que compite con el resto de arvenses en VI y VS. En el ensayo realizado en Castril (Foraster, 2004), las cubiertas de veza-cebada, redujeron su diversidad debido a la competencia con la veza por la luz principalmente.

Tabla 1.19. Esquematización de las tendencias significativas al alza (+) o a la baja (-) para los indicadores de riqueza y diversidad florística para el conjunto de años de ensayo (2004-2009).

	TTO	Riqueza	Div.Shannon	Div.máx.	Div.Simpson	Dominancia	Equidad
FAMILIA	VI	+	+	+	+	-	=
	D	=	=	-	=	=	-
	VS	+	+	+	+	-	=
GENERO	VI	+	+	=	=	=	=
	D	+	+	=	=	=	-
	VS	+	+	+	=	=	=
ESPECIE	VI	+	+	=	=	=	-
	D	+	+	=	=	=	-
	VS	+	+	+	=	=	=
BIOTIPO	VI	+	+	+	=	=	=
	D	+	+	-	-	+	-
	VS	+	+	+	+	-	=

TTO: Tratamiento. VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Antes del segundo control de la cubierta, en junio-julio, el tratamiento VS presenta un porcentaje de cobertura superior al de las cubiertas labradas, por lo que, la Riqueza de géneros y especies es significativamente mayor en VS, y por tanto también la diversidad potencial. A nivel específico, el tratamiento VS presenta valores significativamente mayores para los Índices de Diversidad, mientras que a nivel genérico es el Índice de Diversidad de Simpson el que revela unos valores más altos para VS frente a VI. Sin embargo, el Índice de Equidad familiar y genérico, es inferior en las parcelas desbrozadas, esto se debe a que la escasa cobertura de las cubiertas labradas, aumenta la probabilidad de que las familias y géneros registrados sean equifrecuentes. Asimismo, la aparición de plantas de óptimo estival, hace aumentar el número de familias que se presentan en las cubiertas labradas, lo que queda reflejado en la menor Diversidad familiar que presenta el tratamiento VS frente a VI. De este modo, el Índice de Dominancia a nivel familiar es superior en VS frente a las cubiertas labradas, en cambio, a nivel genérico, este índice es significativamente menor en VS. Según la representación gráfica de las diferencias entre tratamientos en el mes de junio (Figura 37 del Anexo 1.C) el tratamiento VS experimenta una menor variación interanual en los valores de riqueza, diversidad, dominancia y equidad entre una primavera húmeda (año 5) y una seca (año 6). Sin embargo, cuando la primavera es húmeda, los valores de los indicadores en las cubiertas labradas, se aproximan a los de las cubiertas desbrozadas, y son superados a nivel de riqueza y diversidad familiar.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES

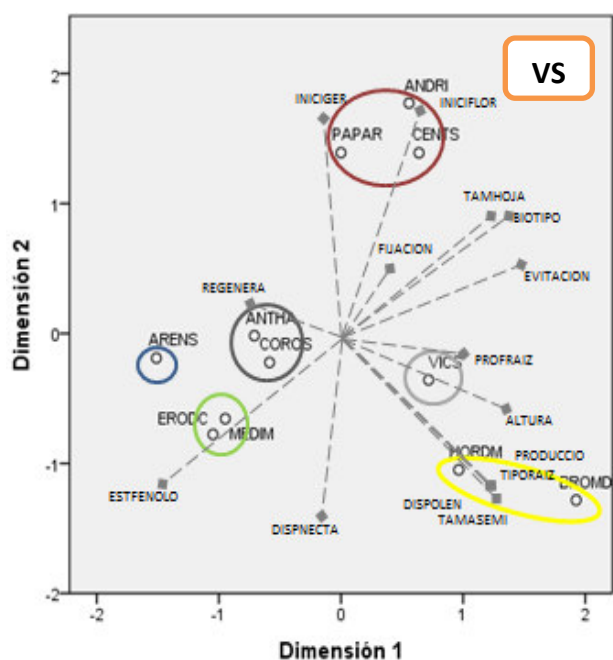
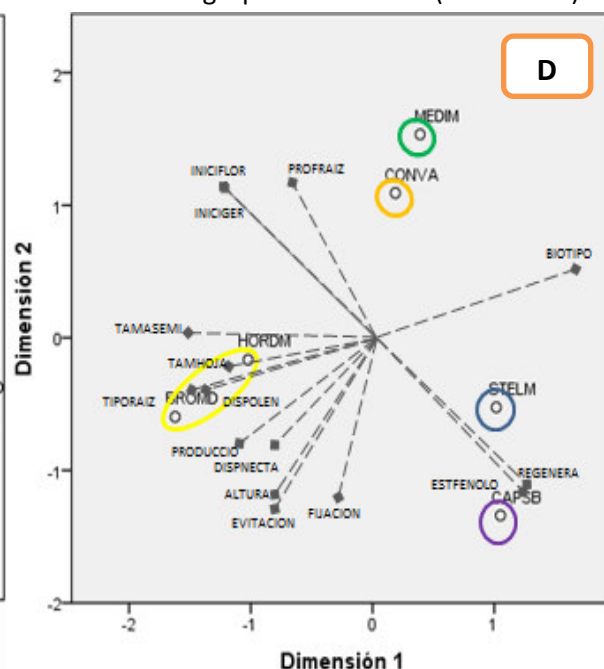
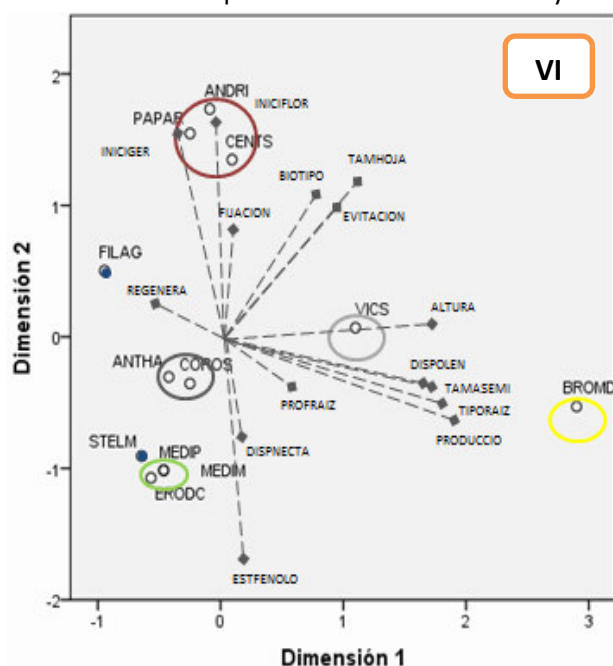
En el Anexo 1.F se encuentran las salidas del análisis estadístico que ha permitido identificar y caracterizar los grupos funcionales de las cubiertas. El Análisis de Componentes Principales (ACPP), aplicado a la matriz de datos “especies x rasgos funcionales” (Anexo 1.D), resulta en la representación gráfica de las relaciones que guardan las especies en el espacio, delimitado por dos dimensiones en las que se representa la mayor parte de la información de las variables originales. Estos son los Diagramas de dispersión biespacial, donde además se han marcado en círculos, las agrupaciones resultantes de aplicar a la matriz de datos el Análisis de Conglomerados bietápico (Gráficos 2003-2004 a 2008-2009). Como resultado, las especies se agrupan por su similitud, pudiendo caracterizar cada grupo en base al perfil de los conglomerados (centroides en variables numéricas y frecuencias en las categóricas).

Para estudiar la evolución de grupos funcionales en el tiempo, así como para poder hacer comparaciones, es necesario unificar los resultados obtenidos anualmente (Tabla 1.20 y Figura 1.20). Por ello se realiza un nuevo análisis de ordenación (ACPP) y de clasificación (Análisis de Conglomerados), situando en las filas de la matriz de datos, los grupos funcionales ya identificados, y en columnas sus correspondientes valores para cada uno de los rasgos. De este modo, se pueden aglomerar los grupos, que, de otro modo, pueden resultar difíciles de identificar, ya que no comparten la misma composición específica, pudiendo aparecer en años y tratamientos distintos. Esta súper-clasificación resulta en un total de 14 grupos funcionales (conglomerados) que se presentan del primer al sexto año de ensayo y en cualquier tratamiento. Los resultados se encuentran esquematizados en la Tabla 1.20, donde las filas se corresponden a los grupos funcionales identificados anualmente en cada tratamiento, y las columnas se corresponden con los grupos funcionales definitivos a los que se asimilan los primeros. Además, esta última clasificación se corresponde con los colores que aparecen en los Gráficos 2003-2004 a 2008-2009 y Figuras 1.5 y 1.6, delimitando estas agrupaciones.

Una vez identificados los grupos funcionales para cada año y tratamiento, es posible cuantificarlos y analizar la distinta composición, estructura y diversidad de grupos funcionales en función de los distintos tratamientos ensayados. La evolución en el tiempo para cada uno de estos indicadores a nivel funcional se encuentran al final del capítulo. En cuanto al grupo funcional denominado “Resto” (Tabla 1.22) no se deriva del análisis de los datos sobre caracteres funcionales clave de las especies más importantes. Se trata de una simplificación del modelo para poder realizar la cuantificación de grupos funcionales en relación al total de individuos presentes en las parcelas. De este modo, en el grupo “Resto” se agrupan todas aquellas especies con una abundancia inferior al 1% y una frecuencia inferior al 50%.

Cuando se aplica el Análisis de Componentes Principales sobre la matriz formada por todos los grupos funcionales identificados año a año y el valor de sus rasgos funcionales clave, se obtiene el diagrama que se muestra en la Figura 1.5. En la Figura 1.5 también aparecen los casos o grupos coloreados en función del conglomerado al que pertenecen (Figura 1.6). De este modo, cuando trasladamos los grupos obtenidos en la clasificación de la Figura 1.6 al espacio, obtenemos la súper-clasificación que se encuentra esquematizada en la Tabla 1.20. En base al perfil de los conglomerados identificados se pueden caracterizar los grupos funcionales definitivos (Tabla 1.21).

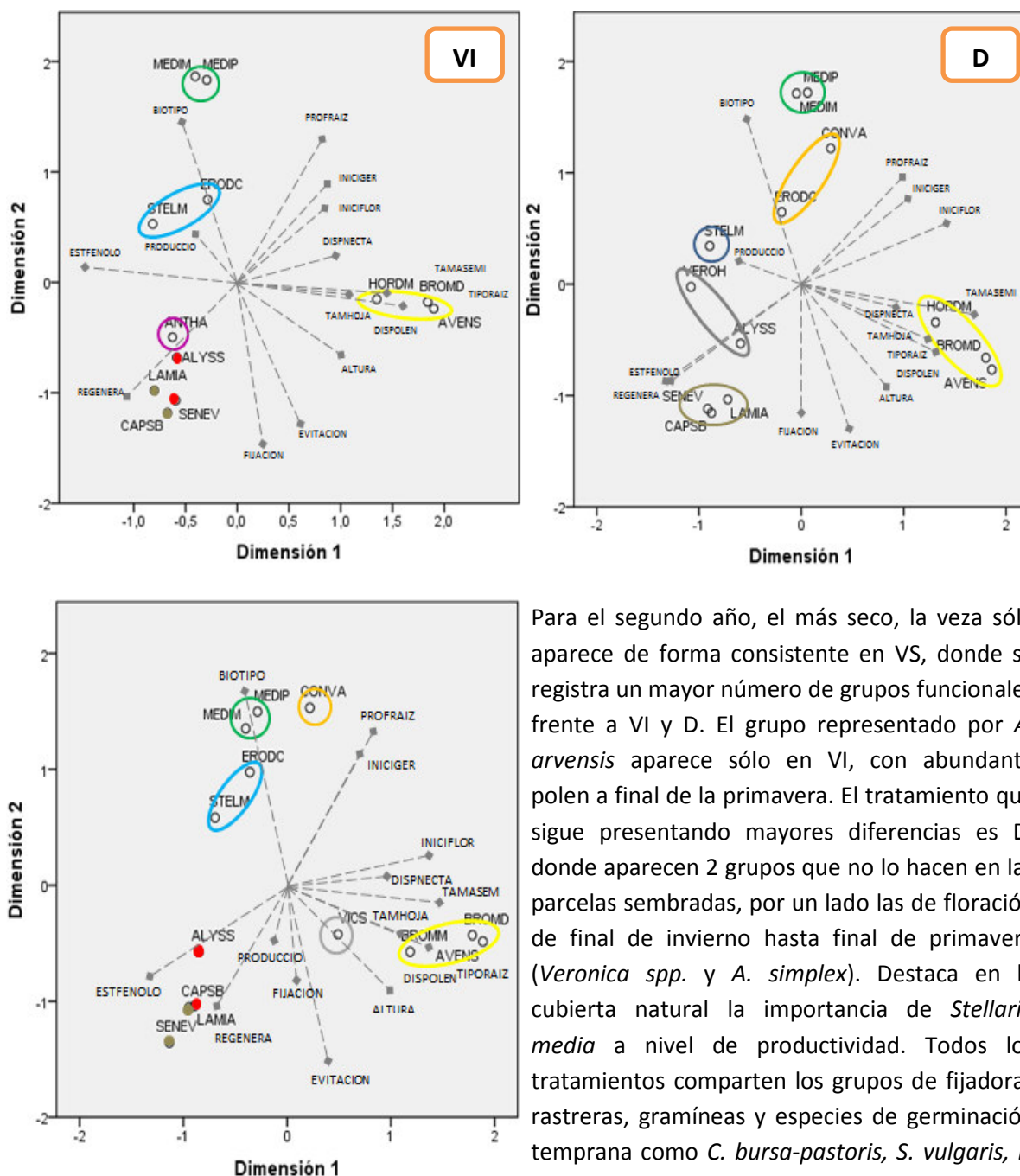
Gráficos 2003-2004. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales (en círculos).



La introducción de la veza supone la aparición de un grupo funcional más en VI y VS respecto a D. Las parcelas sembradas con veza presentan los mismos grupos funcionales, aunque éstos no están formados por las mismas especies. Destaca el grupo de floración tardía por su importancia en las cubiertas con veza, y ausente en D. En D se identifican 3 grupos funcionales ausentes en VI y VS. *C. bursa-pastoris*, como representante de crucíferas tempranas; *Convolvulus sp.* con óptimo primaveral-estival; y por último *M. minima* como fijadora rastrera. En las sembradas con veza, los carretones se unen a *E. cicutarium*. El tratamiento VI presenta un mayor número de especies evitadoras y de germinación temprana, como *Medicago spp.*, *E. cicutarium* y *S. media*. Así como en las cubiertas naturales, es el grupo de las gramíneas el más diverso, para el caso de las cubiertas sembradas con veza, son los grupos de óptimo primaveral-estival los que agrupan a un mayor número de especies. Los grupos que aportan una mayor biomasa al sistema son el de las gramíneas y el de la veza sembrada. Respecto a las cubiertas sembradas, las naturales presentan un estado fenológico más avanzado.

Objetos (Especies) y saturaciones en componentes (Variables) del diagrama de dispersión biespacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Se agrupan los datos en círculos en base Clasificación por análisis de conglomerados bietápico.

Gráficos 2004-2005. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales (en círculos).

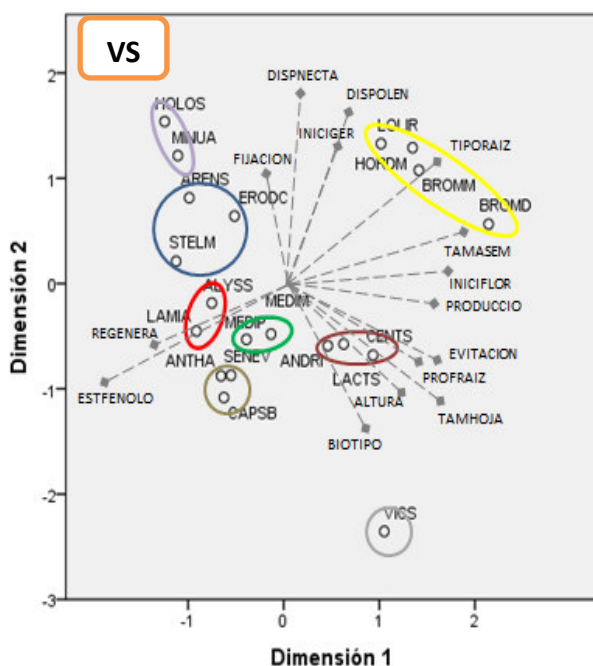
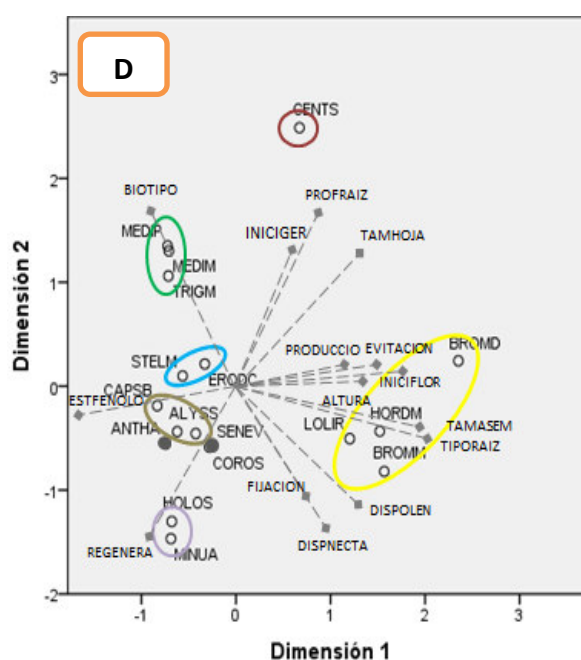
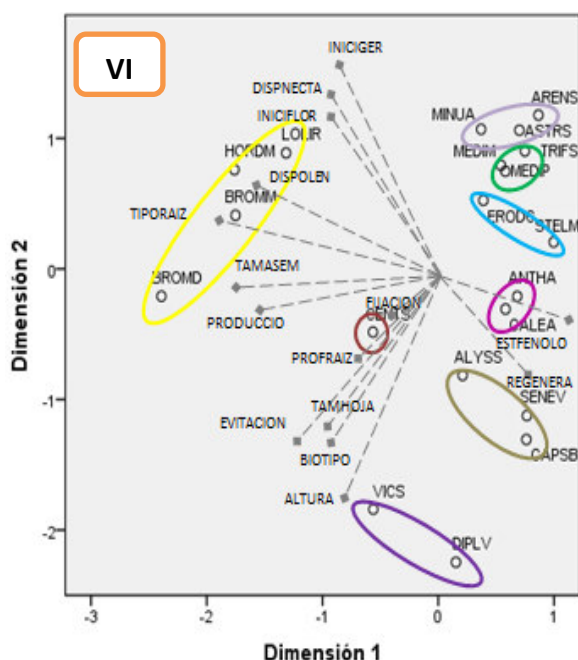


Para el segundo año, el más seco, la veza sólo aparece de forma consistente en VS, donde se registra un mayor número de grupos funcionales frente a VI y D. El grupo representado por *A. arvensis* aparece sólo en VI, con abundante polen a final de la primavera. El tratamiento que sigue presentando mayores diferencias es D, donde aparecen 2 grupos que no lo hacen en las parcelas sembradas, por un lado las de floración de final de invierno hasta final de primavera (*Veronica spp.* y *A. simplex*). Destaca en la cubierta natural la importancia de *Stellaria media* a nivel de productividad. Todos los tratamientos comparten los grupos de fijadoras rastreras, gramíneas y especies de germinación temprana como *C. bursa-pastoris*, *S. vulgaris*, *L. amplexicaule*). Sin embargo, VS y D comparten también el grupo de la corregüela, de óptimo estival. Desaparece respecto al año 1, el grupo de floración tardía en VS y VI, y aparece un nuevo grupo, de floración temprana y biotipo erecto, con *Alyssum simplex* como protagonista.

Objetos (Especies) y saturaciones en componentes (Variables) del diagrama de dispersión biespacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Se agrupan los datos en círculos en base Clasificación por análisis de conglomerados bietápico.

En VI y VS, *Stellaria media* y *Erodium cicutarium cicutarium* forman un grupo funcional que tapiza el suelo tempranamente. El grupo de las gramíneas aporta una cantidad de materia seca por metro cuadrado modesta en todos los tratamientos y menor al año anterior

Gráficos 2005-2006. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales (en círculos).

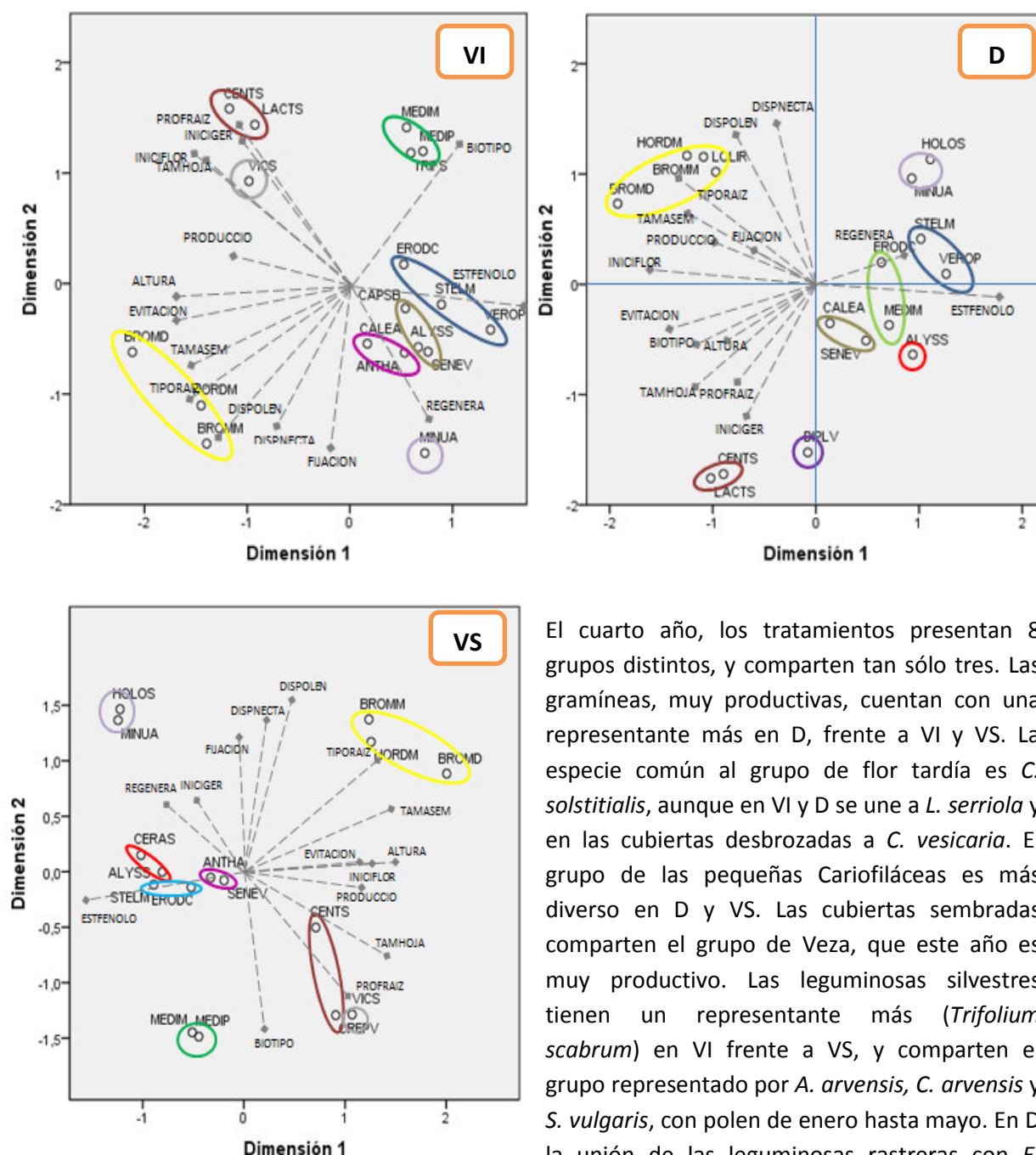


Objetos (Especies) y saturaciones en componentes (Variables) del diagrama de dispersión biespacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Se agrupan los datos en círculos en base Clasificación por análisis de conglomerados

a diferencia de las labradas, el grupo ALYSS, LAMIA de germinación temprana. Aparece por primera vez en VI, el grupo de especies “competitivas” por su germinación otoñal, altura, forma de crecimiento y tamaño de la hoja, con *Diplotaxis virgata* como especie característica.

El tercer año, son los tratamientos sembrados (VI y VS), los que presentan un grupo funcional más respecto a D. Las cubiertas comparten 5 grupos; destaca el de las gramíneas por aumentar su número de representantes, y su productividad. También aparecen las pequeñas Cariofiláceas y otras propias de pastizales que se presentan de forma consistente en todas las cubiertas. El grupo de fijadoras rastreras se enriquece en las cubiertas labradas con especies como *Trifolium scabrum* y *Trigonella monspeliaca*. La especie *Stellaria media* es característica de los grupos con capacidad de evitación, y en VI y D se une a *E. cicutarium*, cubriendo el suelo temprano en invierno. Otro grupo común a todas las cubiertas es el de floración temprana, junto al de floración tardía, que en VS, cuenta con dos representantes más que en las labradas. Las menores diferencias se encuentran entre VI y D, la labor ha favorecido la aparición de *Anthemis arvensis*, junto a *Calendula arvensis* en VI y junto a *Coronilla Scorpioides* en D. La cubierta VS presenta,

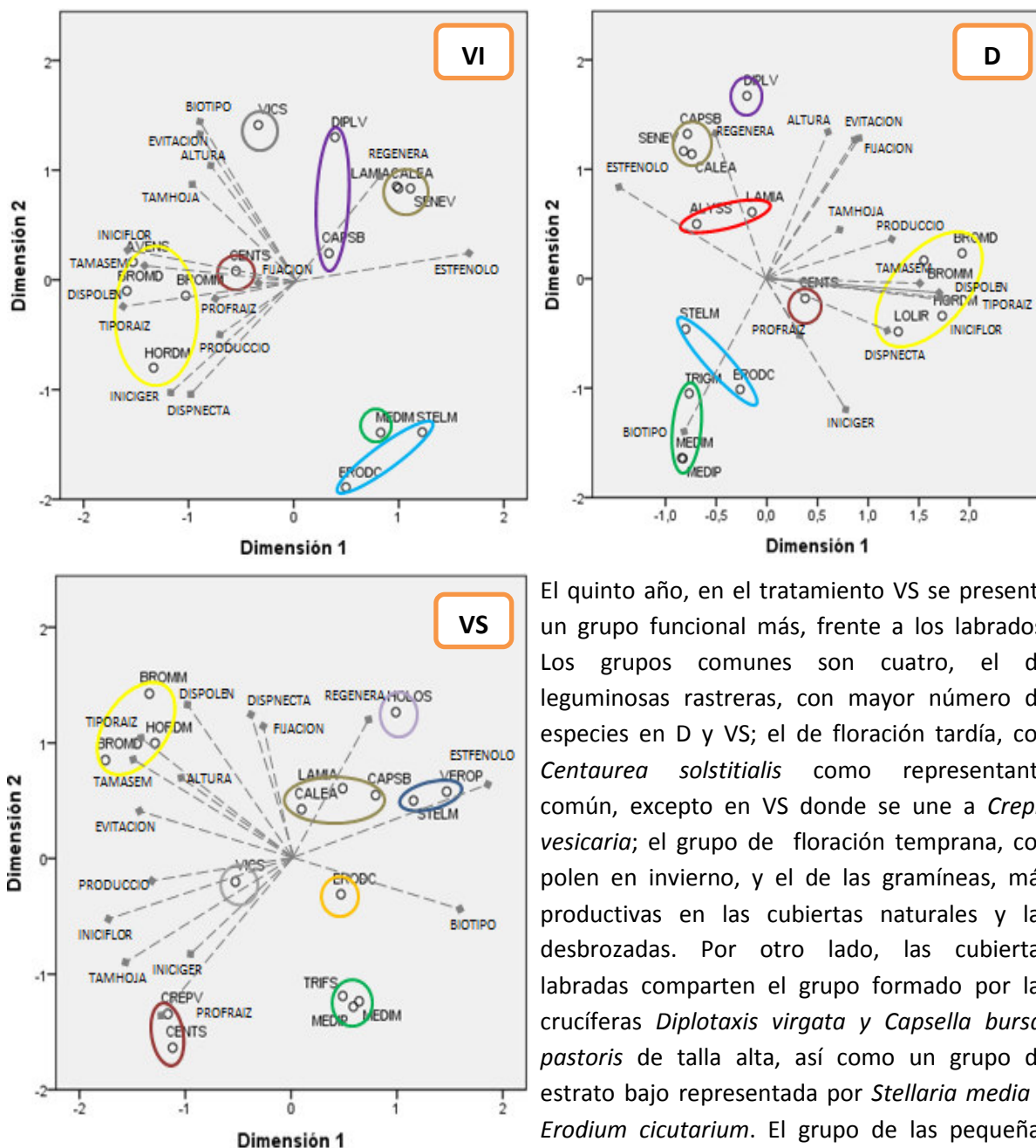
Gráficos 2006-2007. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales (en círculos).



Objetos (Especies) y saturaciones en componentes (Variables) del diagrama de dispersión biespacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Se agrupan los datos en círculos en base Clasificación por análisis de conglomerados bietápico.

El cuarto año, los tratamientos presentan 8 grupos distintos, y comparten tan sólo tres. Las gramíneas, muy productivas, cuentan con una representante más en D, frente a VI y VS. La especie común al grupo de flor tardía es *C. solstitialis*, aunque en VI y D se une a *L. serriola* y en las cubiertas desbrozadas a *C. vesicaria*. El grupo de las pequeñas Cariofiláceas es más diverso en D y VS. Las cubiertas sembradas comparten el grupo de Veza, que este año es muy productivo. Las leguminosas silvestres tienen un representante más (*Trifolium scabrum*) en VI frente a VS, y comparten el grupo representado por *A. arvensis*, *C. arvensis* y *S. vulgaris*, con polen de enero hasta mayo. En D la unión de las leguminosas rastreras con *E. cicutarium* conforma un grupo con capacidad de regeneración y evitación. En las cubiertas naturales aparece el grupo de las crucíferas, representado por *D. virgata*. Este tratamiento comparte con VI el grupo de floración temprana (*S. vulgaris*, *C. bursa-pastoris* y *C. arvense*) con fruto o senescente antes del primer control. Por otro lado, las cubiertas naturales comparten con las desbrozadas el grupo representado por *Alyssum simplex*. En VS, *S. media* y *E. cicutarium* forman un grupo consistente de floración temprana y capacidad de evitación.

Gráficos 2007-2008. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales (en círculos).

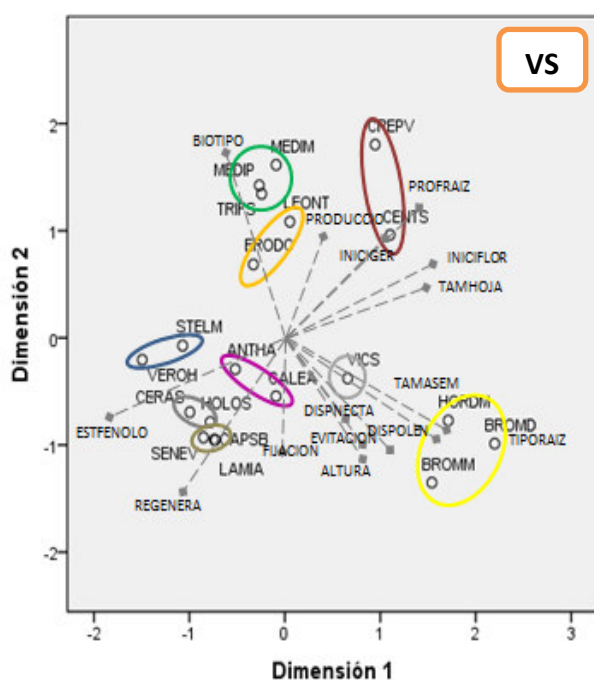
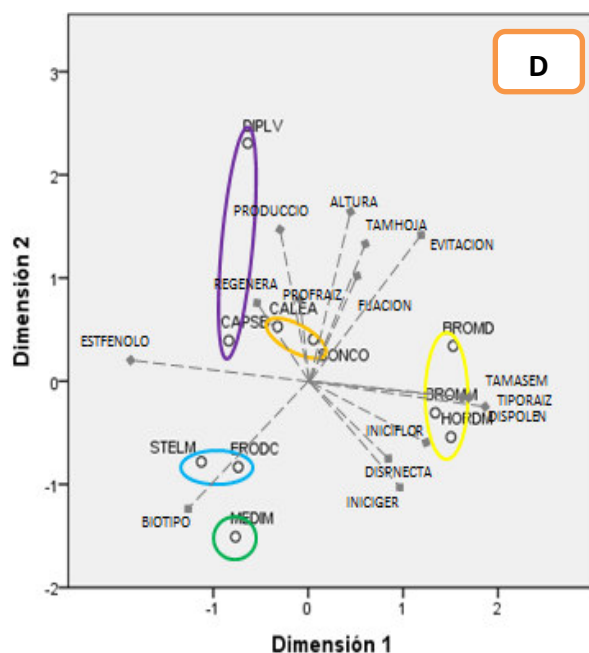
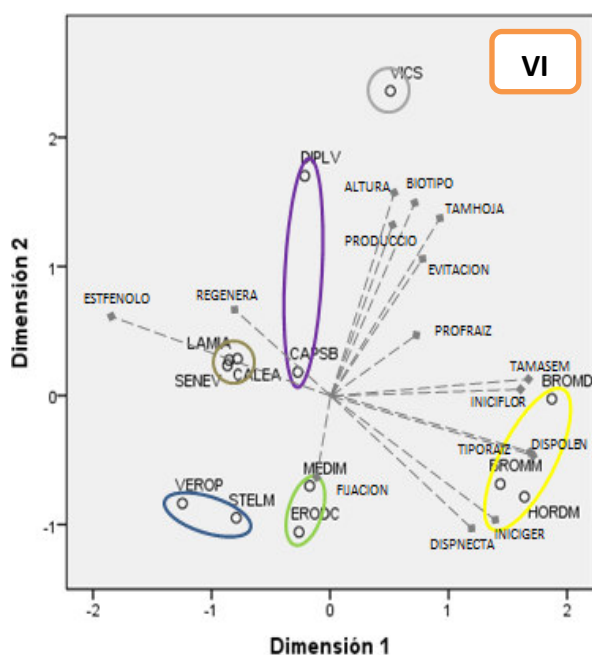


Objetos (Especies) y saturaciones en componentes (Variables) del diagrama de dispersión biespacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Se agrupan los datos en círculos en base Clasificación por análisis de conglomerados bietápico.

cubierta, así como florecer hasta el mes de mayo. En el tratamiento D, toma importancia el grupo de germinación y floración temprana (*Alyssum sp.* y *Lamium sp.*). Las cubiertas labradas comparten 6 de los 7 grupos, siendo VS el tratamiento que mayores diferencias muestra.

El quinto año, en el tratamiento VS se presenta un grupo funcional más, frente a los labrados. Los grupos comunes son cuatro, el de leguminosas rastreras, con mayor número de especies en D y VS; el de floración tardía, con *Centaurea solstitialis* como representante común, excepto en VS donde se une a *Crepis vesicaria*; el grupo de floración temprana, con polen en invierno, y el de las gramíneas, más productivas en las cubiertas naturales y las desbrozadas. Por otro lado, las cubiertas labradas comparten el grupo formado por las crucíferas *Diplotaxis virgata* y *Capsella bursa-pastoris* de talla alta, así como un grupo de estrato bajo representada por *Stellaria media* y *Erodium cicutarium*. El grupo de las pequeñas Cariofiláceas únicamente aparece en VS. En la cubierta desbrozada, *S. medio* y *Veronica sp.* forman un grupo de germinación temprana que evita el corte por su baja altura. A diferencia de las cubiertas labradas, en VS *Erodium cicutarium* pasa a representar un grupo que es capaz de evitar y regenerarse tras el primer control de la

Gráficos 2008-2009. Gráficos de componentes principales de las especies según los rasgos funcionales para cada tratamiento ensayado. Clasificación de grupos funcionales (en círculos).



Objetos (Especies) y saturaciones en componentes (Variables) del diagrama de dispersión bi espacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Se agrupan los datos en círculos en base Clasificación por análisis de conglomerados bietápico.

Destaca el sexto año, la reducción de grupos en las cubiertas labradas respecto al anterior, mientras que en las desbrozadas se presenta un grupo más. Las cubiertas comparten únicamente el grupo de las gramíneas. Los tratamientos con laboreo comparten el grupo de las crucíferas, más productivo en D. Por otro lado, las cubiertas naturales y las desbrozadas comparten el grupo de las leguminosas silvestres, más diverso en VS, y también el grupo de fenología más tardía, representado por *Leontodon longirostris* y *Erodium cicutarium* en VS y por *Calendula arvensis* y *Sonchus oleraceus* en D. Las cubiertas sembradas, tienen en común a *Vicia sativa*, mucho más productiva en VI. También comparten los grupos de germinación temprana, provistos de polen y néctar, por un lado, el de floración temprana (*Senecio vulgaris*, *Lamium amplexicaule*, *Calendula arvensis* y *Capsella bursa-pastoris*), y por otro, el de las rastreras con capacidad de evitación (*Stellaria media* y *Veronica spp.*) con polen y néctar ambos grupos.

En el tratamiento VI, *Medicago* se une con regenera. Sin embargo en D, *E. cicutarium* se une a *S. media*, cubriendo el suelo temprano en invierno. Dos grupos se presentan solo en VS, el formado *Anthemis arvensis* y *Calendula arvensis*, y el de las pequeñas primaverales (*Holosteum umbellatum* y *Cerastium glomeratum*).

Tabla 1.20. Grupos funcionales identificados por tratamiento y año (en filas) y clasificación resultante de su análisis conjunto (en columnas).

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2003/2004	VI	BROMD	CENTS, ANDRI PAPAV	VICIS				MEDIM, MEDIP ERODC			STELM, FILAG			ANTHA COROS	
	D	BROMD,HORDM			CAPSB		MEDIM		CONVO		STELM				
	VS	BROMD,HORDM	CENTS, ANDRI PAPAV	VICIS				MEDIM, ERODC			ARENS			ANTHA COROS	
2004/2005	VI	BROMD HORDM AVENS				ALYSS,SENEV	MEDIM, MEDIP			STELM, ERODC			ANTHA		LAMIA, CAPSB
	D	BROMD HORDMAVENS					MEDIM, MEDIP		CONVO, ERODC		STELM			ALYSS VEROH	CAPSB SENEV LAMIA
	VS	BROMD BROMMAVENS		VICIS		ALYSS, LAMIA	MEDIM, MEDIP		CONVO	STELM, ERODC					CAPSB, SENEV
2005/2006	VI	BROMD,HORDM BROMM,LOLIR	CENTS		VICIS, DIPLV		MEDIM,MEDIP, TRIFS			STELM, ERODC		MINUH,ARENS, ASTRS	ANTHA, CALEA		ALYSS, SENEV CAPSB
	D	BROMD,HORDM BROMM,LOLIR	CENTS				MEDIM,MEDIP, TRIGM			STELM, ERODC		MINUH, HOLOS		ANTHA COROS	ALYSS, SENEV CAPSB
	VS	BROMD,HORDM BROMM,LOLIR	CENTS, ANDRI, LACTS	VICIS		ALYSS, LAMIA	MEDIM, MEDIP				STELM,ERODC ARENS	MINUH, HOLOS	ANTHA SENEV CAPSB		
2006/2007	VI	BROMD,HORDM BROMM	CENTS, LACTS	VICIS			MEDIM,MEDIP, TRIFS				STELM,ERODC VEROP	MINUH	ANTHA, CALEA		ALYSS, SENEV CAPSB
	D	BROMD,HORDM BROMM,LOLIR	CENTS, LACTS		DIPLV	ALYSS		MEDIM, ERODC			STELM, VEROP	MINUH, HOLOS			CALEA, SENEV
	VS	BROMD,HORDM BROMM	CENTS, CREPV	VICIS		ALYSS, CERAS	MEDIM, MEDIP			STELM, ERODC		MINUH, HOLOS	ANTHA, SENEV		
2007/2008	VI	BROMD,HORDM BROMM,AVENS	CENTS	VICIS	DIPLV, CAPSB		MEDIM			STELM, ERODC					LAMIA, CALEA SENEV
	D	BROMD,HORDM BROMM,LOLIR	CENTS		DIPLV	ALYSS, LAMIA	MEDIM,MEDIP, TRIGM			STELM, ERODC					CALEN, CAPSB SENEV
	VS	BROMD,HORDM BROMM	CENTS, CREPV	VICIS			MEDIM,MEDIP, TRIFS		ERODC		STELM, VEROP	HOLOS			CALEA, CAPSB LAMIA
2008/2009	VI	BROMD,HORDM BROMM		VICIS	DIPLV, CAPSB			MEDIM, ERODC			STELM, VEROP				LAMIA, CALEA SENEV
	D	BROMD,HORDM BROMM			DIPLV, CAPSB		MEDIM		CALEA, SONCO	STELM, ERODC					
	VS	BROMD,HORDM BROMM	CENTS, CREPV	VICIS			MEDIM,MEDIP, TRIFS		ERODC, LEONT		STELM, VEROH		ANTHA, CALEA	HOLOS, CERAS	CAPSB, SENEV LAMIA

Abreviaturas de las especies en Anexo 1.A o en Glosario de abreviaturas. VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: cubierta de veza desbrozada.

Figura 1.5. Gráfico de componentes principales de los conglomerados (grupos funcionales*año y tratamiento) según los caracteres funcionales clave evaluados: Inicio germinación; Inicio floración; Estado fenológico; Biotipo; Tamaño hoja; Tamaño semilla; Altura; Tipo raíz; Profundidad raíz; Evitación; Regeneración; Disponibilidad polen; Disponibilidad néctar; Fijación N; Productividad. La leyenda muestra los objetos (Grupos Funcionales). Los vectores señalan las saturaciones en componentes para cada variable (caracteres funcionales clave) del diagrama de dispersión bi espacial de Componentes Principales Categóricos (Normalización principal por variable). Los colores se corresponden con la clasificación de la Figura 1.6.

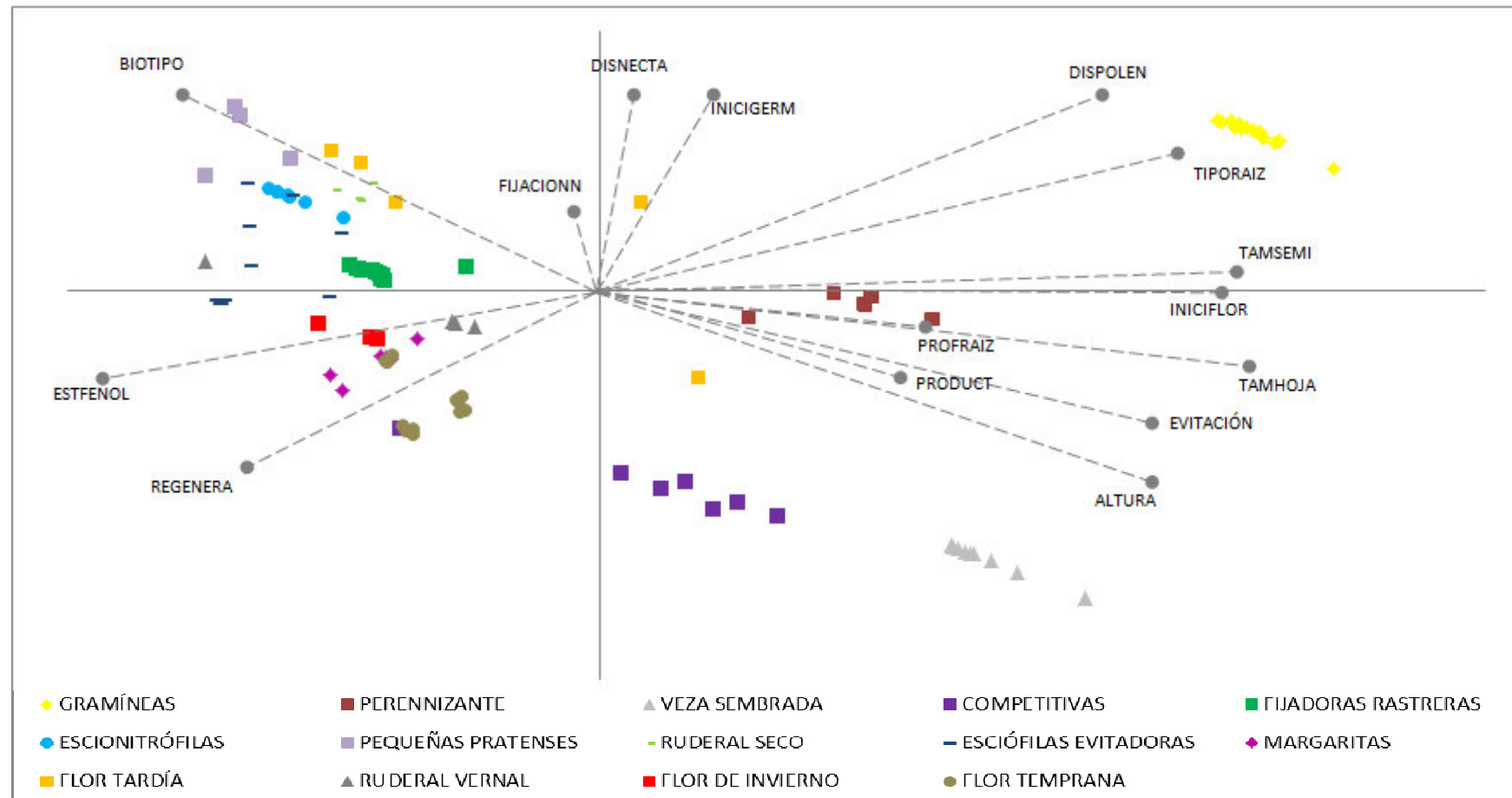
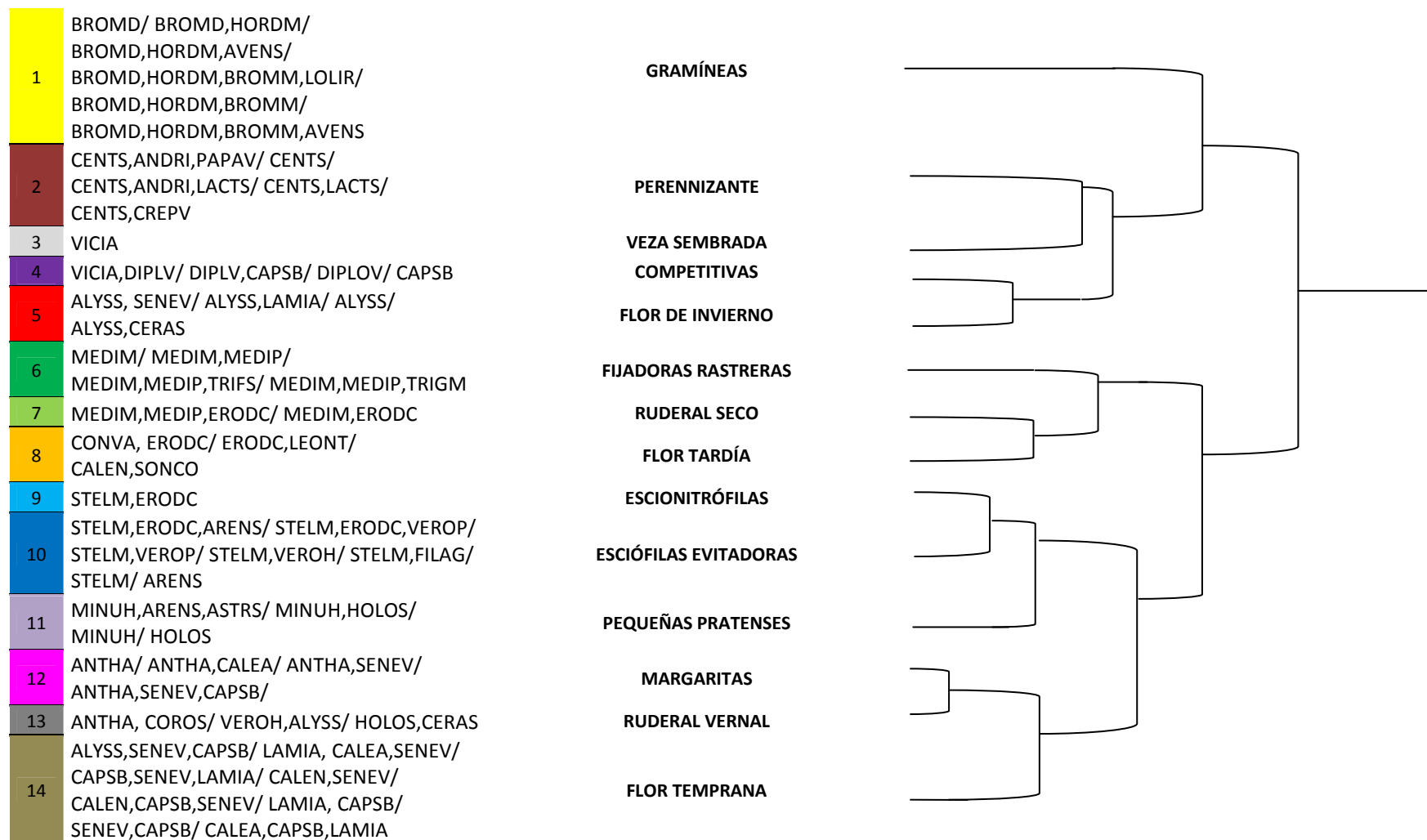


Figura 1.6. Clasificación de grupos funcionales (Clasificación resultante de aplicar el análisis de conglomerados bietápico sucesivamente sobre la matriz grupos funcionales x rasgos funcionales).



Abreviaturas de las especies en el Anexo 1.A o en el Glosario de abreviaturas.

Tabla 1.21. Caracterización de grupos funcionales.

G.F	Nº SP	INICGER	INICFLOR	ESTFENOL	BIOTIPO	TAM HOJ	TAM SEM	ALTURA	PROFRAI	TIPRAIZ	DISPOL	DISNEC	EVITA	REGEN	FIJAN	PRODUC
1	3,1	O/I	IV	Embuchamiento/ Espigamiento	T.ER	M/G	14,5	25,5	8,78	2	no	no	no	si	no	91,13
2	1,9	O/I/P	IV-VI	Desarrollo de hojas y órganos de propagación	T.ER/T-H.ER/ T-H.RO/H-G.RO	G	2,2	11,7	11,8	1	si	si	no	si/no	no	63,19
3	1	O	IV	Floración	T.TR	G	11,7 8	40	9	1	si	si	no	no	si	150,1
4	1,57	O	I-II/IV	Floración/Madurez/ Senescencia	T.ER/T.TR/ T-H.ER	M/G	1,19	40	10,31	1	si	si	no	no	si/no	132,6
5	1,83	O/I/P	II-III	Fruto/Madurez/ Senescencia	T.ER	P/M	1,58	12,9	5,75	1	si	si	no	no	no	13,6
6	2,21	O/I/P	III-IV	Flor/Flor y fruto	T.RA	M	1,87	3,88	9,88	1	si	si	si/no	si	si	32,4
7	2,25	O/I	I-IV	Flor y fruto/Fruto	T.RA/T.RO	M	1,32	4,54	9,62	1	si	si/no	si	si	si/no	52,9
8	1,5	O/I/P	I-II/ V-VI	Plántula/Pre-flor/Flor y fruto/Fruto	T.ER/T.RO/ T-H.RO/G	M/G	5,1	6,28	8,92	1	si	si/no	si/no	si	no	61,3
9	2	O/I	I-II	Fruto	T.RA/T.RO	P/M	0,83	5,5	9	1	si	no	si	si/no	no	89,9
10	1,9	O/I/P	I-II/IV-V	Desarr.hojas/Flor/Flor y fruto/Fruto	T.RA/T.RO	P/M	0,71	5,09	6,83	1	si	si/no	si	si/no	no	46,35
11	1,85	I/P	III-IV	Flor y fruto/Madurez	T.ER/T.RA/T.RO	P/M	0,5	4,47	2,95	1	si/no	no	si	no	si/no	1,57
12	2	O/P	I/III-IV	Flor/Flor y fruto/Senescencia	T.ER/T-H.ER	M	5,31	10,88	5	1	si	si	si/no	si/no	no	28,26
13	2	O/I/P	II-IV	Flor/Fruto	T.ER/T.RA/T.RO	P/M	1,95	6,4	5,3	1	si/no	si/no	si/no	no	si/no	10,83
14	2,75	O/I/P	I-II	Flor y fruto/Fruto/Madurez/ Senescencia	T.ER/T-H.ER	P/M	2,55	18,4	5,2	1	si	si	no	si/no	no	43,34

G.F: Grupo funcional, (1) Gramíneas, (2) Perennizante, (3) Veza sembrada, (4) Competitivas, (5) Flor de invierno, (6) Fijadoras rastreras, (7) Ruderal seco, (8) Flor tardía, (9) Escionitrófilas, (10) Esciófilas evitadoras, (11) Pequeñas pratenses, (12) Margaritas, (13) Ruderal vernal, (14) Flor temprana. NºSP: Nº de especies; INICGER: Inicio de la germinación; INICFLOR: Inicio de la floración; ESTFENOL: Estado fenológico; TAMHOJ: Tamaño de la hoja; PROFRAI: Profundidad de la raíz; TIPRAIZ: Tipo de raíz; DISPOL: Disponibilidad de polen; DISNEC: Disponibilidad de néctar; EVITA: Evitación; REGEN: Regeneración; FIJAN: Fijación de Nitrógeno; PRODUC: Productividad; O/I/P: Otoño/Invierno/Primavera; I/II/III...: Enero/Febrero/Marzo...; T./T-H./H-G./G: Terófito/Terófito-Hemicriptófito/Hemicriptófito-Geófito/Geófito; ER./RA./RO./TR.: Erecto/Rastrero/Rosulado/Trepador; P/M/G: Pequeña/Mediana/Grande; Tipo de raíz pivotante:1 o fasciculada:2.

Tabla 1.22. Diferencias en la composición funcional entre las distintas cubiertas ensayadas de 2004 a 2009 en el mes de abril.

	ABUNDANCIA (%)			FRECUENCIA (%)			DENSIDAD (individuos/m ²)		
GRUPO FUNCIONAL	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
GRAMÍNEAS	18,2	20	15,8	98,1	99,1	97,7	141A	128AB	103,9B
PERENNIZANTE	2,3B	0,93C	10,2A	63,5B	37,5C	100A	11,5B	4,1C	78A
VEZA SEMBRADA	4,4A	0,00C	3,41B	44B	1,21C	70,5A	12,5B	0,00C	21,9A
COMPETITIVAS	1,55B	2,18A	0C	38,3B	54,8A	0,00C	1,14B	2,8A	0,00C
FLOR DE INVIERNO	1,99B	1,12B	3,71A	8,72C	26,2B	55,2A	0,34C	1,02B	3,7A
FIJADORAS RASTRERAS	2,53B	4,35A	5A	47,1B	68,4A	68,8A	2,86C	6,8B	8,6A
RUDERAL SECO	5,6A	1,55B	1,65B	66	33	33	8,2A	1,7B	0,95C
FLOR TARDÍA	0B	5A	5,35A	0,00	22	14,3	0,00B	1,33A	0,93A
ESCIÓNITRÓFILAS	9,1A	4,21B	5,3B	39,1A	27,5B	18,9C	11,3A	6,4B	2,8C
ESCIÓFILAS EVITADORAS	2,25A	0,87C	1,46B	25B	26,5B	40,8A	7,3A	8,2A	3,5B
PEQUEÑAS PRATENSES	1,76B	3,48A	2,65AB	40,2B	47,3B	76,3A	4,6B	7,8B	21,4A
MARGARITAS	0,13B	0	0,93A	18,2B	0,00	58,7A	0,64B	0,00C	4,12A
RUDERAL VERNAL	0,4B	0,23B	0,79A	22,39B	47,22A	46,52A	0,48B	2,05A	0,46B
FLOR TEMPRANA	11,6A	7,6AB	7,6B	100A	58,7B	45B	102A	17,9B	11,8C
RESTO	12,4B	13B	16,8A	100	100	100	97AB	89B	118A

VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 1.23. Tendencias diferenciales, al alza (+) o a la baja (-) en la composición funcional de las distintas cubiertas de 2004 a 2009 en abril.

GRUPO FUNCIONAL	VI			D			VS		
	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE
GRAMÍNEAS	=	+	+	=	=	+	-	=	=
PERENNIZANTE	-	-	-	=	=	=	=	=	+
VEZA SEMBRADA	=	=	+		+		-	-	-
COMPETITIVAS	+	+	+	+	+	+			
FLOR DE INVIERNO	=	-	-	=	+	+	=	-	-
FIJADORAS RASTRERAS	=	=	-	-	+	+	+	+	+
RUDERAL SECO	-	=	+	=	=	=	-	=	-
FLOR TARDÍA				+	+	-	+	+	=
ESCIONITRÓFILAS	=	-	-	+	=	+	=	-	-
ESCIÓFILAS EVITADORAS	=	+	+	-	-	-	=	+	+
PEQUEÑAS PRATENSES	=	-	-	=	-	-	=	-	-
MARGARITAS	=	-	=	=	=	=	+	+	+
RUDERAL VERNAL	-	-	-	=	=	+	-	=	-
FLOR TEMPRANA	+	=	=	-	-	-	=	=	=

VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada. AB (%): Abundancia; FR (%): frecuencia; DE (individuos/m²): Densidad; ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 1. Gramíneas (Fotos 1.4-1.6). Esta familia botánica reúne suficientes particularidades como para resultar un grupo claramente diferenciado a nivel funcional, homogéneo y estable en el tiempo en todos los tratamientos. El grupo se compone por terófitos erectos de talla de media a alta, y hojas que van de medianas a grandes. Es el único grupo que posee raíces fasciculadas, y resulta una buena fuente de materia orgánica y carbono, por su notable producción de biomasa. Posee semillas grandes y la capacidad de regenerarse tras su corte. Su germinación, en otoño-invierno y su capacidad de macollar le confieren capacidad de paliar los efectos de la erosión hídrica, junto a la naturaleza de sus residuos con una lenta tasa de descomposición. A pesar de no disponer de polen expuesto para la fauna, sí funcionan como refugio invernal. Su capacidad competitiva es alta debido a su altura, su biomasa, el tamaño de sus hojas y semillas. El hecho de eliminarlas cuando están en embuchamiento o espigamiento, asegura un menor consumo de recursos que si se dejaran madurar en el campo, además la incorporación de materia menos lignificada aporta más azúcares al suelo e inmoviliza menos carbono cuando el suelo no tiene humedad. Sin embargo, su capacidad de rebrotar tras la siega sí implica un considerable consumo de agua y nutrientes. Este grupo prefiere suelos ricos en nutrientes, se trata de vegetación arvense y ruderal de carácter nitrófilo o subnitrófilo. El desarrollo de tejidos más duros, y su posterior incorporación, implica una mayor eficiencia en la captura de carbono, y de su almacenamiento en el suelo, al promover la formación de sustancias húmicas. Sin embargo, en cultivos de secano, su incorporación al suelo a principios de verano puede provocar lo que se conoce como “hambre de nitrógeno” en un momento clave para la formación de la aceituna.

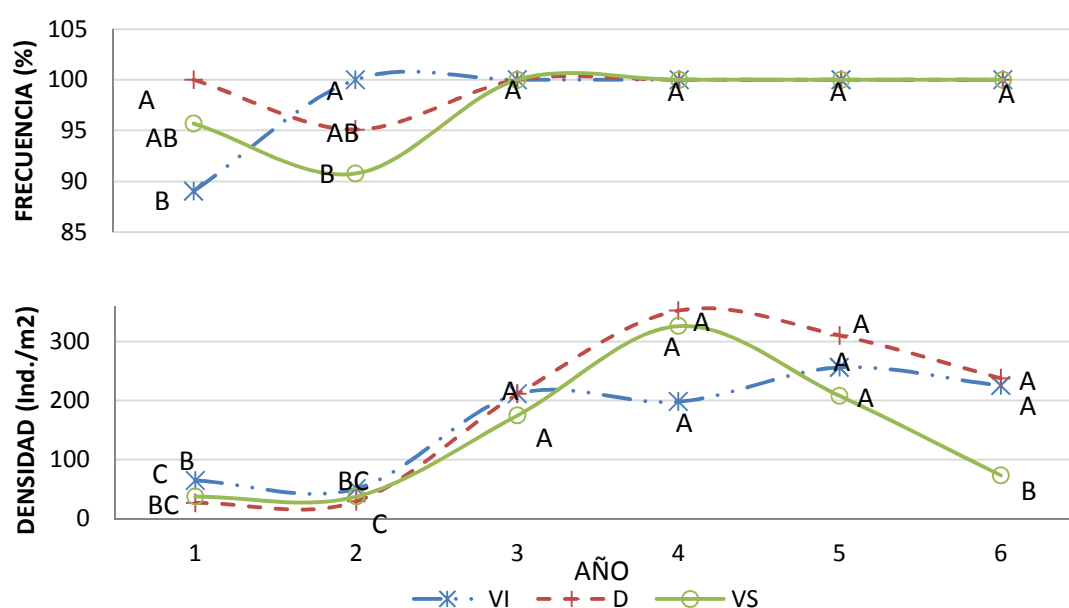


Fotos 1.4 a 1.6: Grupo Gramíneas. Foto 1.4: Población de *Hordeum murinum*. Foto 1.5: Población de *Avena sterilis*. Foto 1.6: Detalle de *Bromus diandrus*.

El cambio de manejo del suelo propicia durante los tres primeros años el aumento de la densidad de individuos pertenecientes al grupo funcional Gramíneas en todos los tratamientos, la frecuencia en las cubiertas de veza labradas, y la disminución de la abundancia relativa en la cubierta de veza desbrozada (Figura 1.7; Anexos 1.F y 1.G). Aunque la frecuencia relativa es del 100% para todos los tratamientos ya desde el tercer año de estudio, aparece una tendencia significativa a la baja de la abundancia de este grupo funcional en las cubiertas desbrozadas, con valores significativamente menores el sexto año. Tras seis años de estudio, el grupo funcional Gramíneas resulta ser más abundante en las cubiertas labradas, siendo para el conjunto de años la densidad de este grupo significativamente mayor en las cubiertas sembradas y labradas que en las sembradas y desbrozadas (Tabla 1.22). Aún estar representado este grupo por las especies gramíneas más importantes como *Bromus diandrus*,

Bromus matritensis y *Hordeum murinum*, aparecen también junto a ellas en la mayor parte de años de estudio, *Avena sterilis* y *Lolium rigidum*. Asimismo, aparecen frecuentemente acompañando a éstas otras como *Bromus rubens* o *Bromus tectorum*, y en menor cantidad *Poa annua*. Gracias a la capacidad de regeneración de este grupo, vuelven a presentarse de forma importante entre el primer y el segundo control de la cubierta, básicamente *Hordeum murinum* y *Avena sterilis*, sobre todo en las cubiertas desbrozadas, mientras que en las labradas lo hacen en menor cantidad los años con primaveras lluviosas. Se trata de un grupo con una gran importancia agroecológica, al tener un papel clave en el funcionamiento del suelo en relación al ciclo del carbono y el nitrógeno.

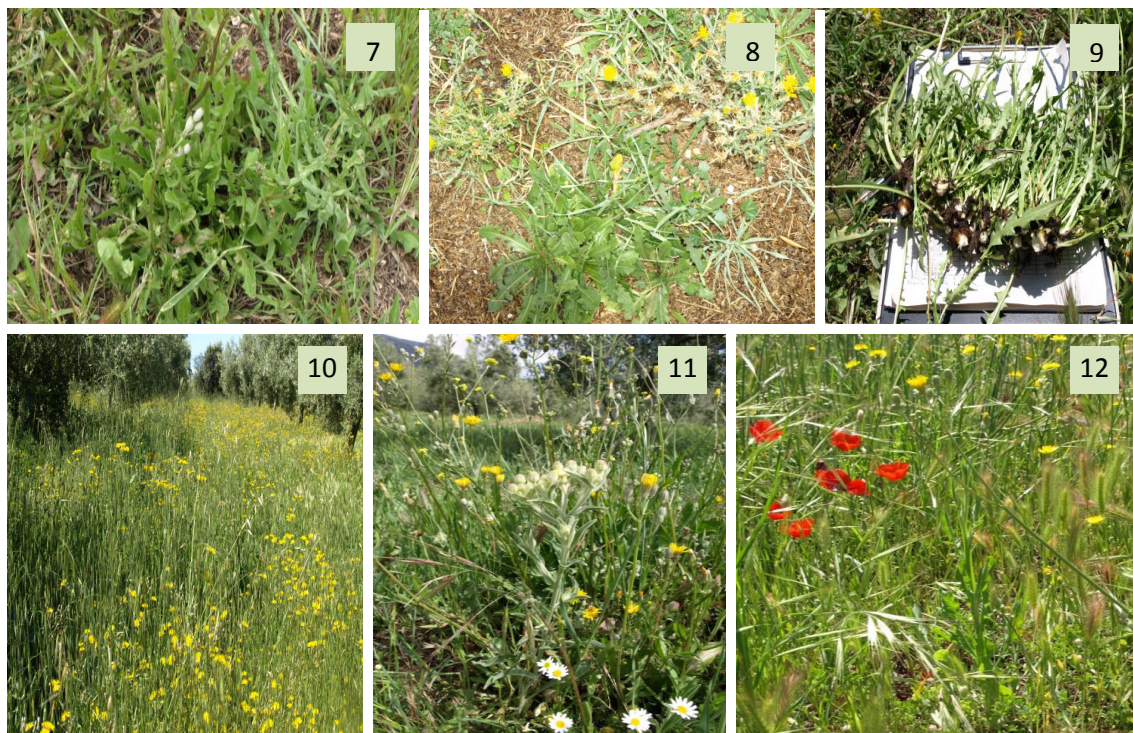
Figura 1.7. Evolución de la Frecuencia y de la Densidad del grupo Gramíneas de 2004 a 2009.



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. Test ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 2. Perennizante (Fotos 1.7-1.12). Este grupo se caracteriza por su floración tardía a final de primavera e inicio del verano, que destaca por ser abundante y colorida, aportando polen y néctar desde abril hasta entrado el otoño (Foto 1.7). Son características de este grupo, las Asteráceas con las hojas grandes, en su mayoría cerca del suelo a final de abril, así como el crecimiento vegetativo en roseta y la tendencia a la bienalidad. Es el grupo que posee el sistema radicular más profundo y con una mayor biomasa subterránea, contribuyendo tras su muerte, a la macroporosidad del suelo y a la capacidad de almacenamiento de agua. En este caso, la productividad aérea media (60 gr ms/m^2), es un mal estimador de la producción total de biomasa, debido a la baja relación Biomasa aérea/Biomasa subterránea. Teniendo en cuenta la alta biomasa total (Fotos 1.8 y 1.9), la captura de carbono y la movilización de recursos por parte de este grupo debe ser significativa. Antes del primer control, la densidad de individuos pertenecientes a este grupo es de unos 75 individuos por metro cuadrado (Tabla 1.22). Es clave en el éxito de este grupo su capacidad de regeneración tras el control de la cubierta, que supone una nueva movilización de recursos para poder finalmente florecer, destacando la máxima floración de *Crepis vesicaria* en el mes de mayo (Foto 1.10), y *Centaurea solstitialis* al inicio del verano. Por todo ello, y por su tendencia a perennizar, y su alta

cobertura, se trata de un grupo que consume agua y nutrientes de forma significativa, antes y después del primer control de las cubiertas, lo que implica también una mayor evapotranspiración, y a su vez una mayor capacidad competitiva. Este grupo está presente en otoño e invierno, desarrollándose sin problemas sobre los restos vegetales de la campaña anterior, contribuyendo de forma importante a prevenir la erosión del suelo de otoño a verano. En otoño ya presenta una buena cobertura horizontal, debido a su crecimiento rosulado y sus grandes hojas, propiciando además, por su morfología, la infiltración y el almacenamiento de agua. Todo apunta a que este grupo es relevante a nivel de los procesos que ocurren en el suelo relacionados con el ciclo de materiales y energía, por su funcionamiento centrado en el almacenamiento de agua y nutrientes para completar un ciclo vital largo. La fenología tardía de este grupo, permite que tras el primer control de la cubierta, siga teniendo importancia sobre todo en las cubiertas sembradas y desbrozadas. Este grupo está representado básicamente por *C. solstitialis* y *Crepis vesicaria*, acompañadas al inicio del ensayo por *Andryala integrifolia* en las cubiertas sembradas (Foto 1.11) y de *Lactuca serriola* en las cubiertas labradas. Además, en menor cantidad aparecen frecuentemente otras muy similares como *Centaurea melitensis* o *Crepis foetida*, que a la larga podrían formar parte de este grupo funcional, e incluso relevar a las primeras.

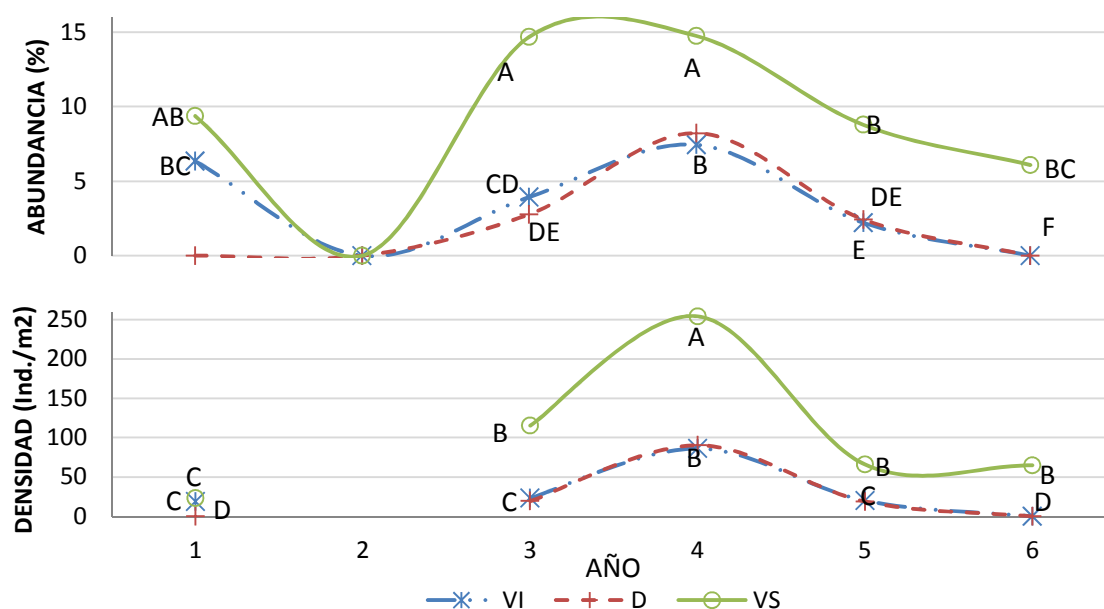


Fotos 1.7 a 1.12: Grupo Perennizante. *Crepis vesicaria* y *Centaurea solstitialis* antes (foto 1.7) y después (foto 1.8) del primer control de la cubierta. Foto 1.9: *Crepis vesicaria* arrancada en 0,25 m² a final de mayo. Foto 1.10: Floración de *Crepis vesicaria* antes del segundo control de la cubierta. Foto 1.11: En amarillo flor de *Crepis vesicaria* y en el centro *Andryala integrifolia* antes de florecer. Foto 1.12: de amarillo en flor *Crepis vesicaria*, en rojo *Papaver rhoeas* y en el centro *Centaurea* subiendo la flor.

La abundancia, tanto relativa como absoluta de este grupo funcional resulta ser significativamente mayor en las cubiertas desbrozadas frente a las labradas desde el tercer año de estudio hasta el sexto (Figura 1.8; Anexos 1.F y 1.G). Este comportamiento indica que el manejo del suelo con cubierta sembrada de veza y desbrozada promueve el establecimiento

del grupo de las perennizantes, en contra de lo que sucede en las parcelas labradas donde la tendencia es reducir la importancia de este grupo del cuarto al sexto año. Al analizar los datos de forma conjunta (2003-2009), los tratamientos se clasifican en función de la importancia que resulta tener este grupo, siendo significativamente mayor en la cubierta de veza desbrozada, seguida por la cubierta de veza labrada, y finalmente por la cubierta espontánea (Tabla 1.22). Las diferencias significativas entre las cubiertas labradas podría responder a su diferente contenido de humedad del suelo, siendo mayor en VI que en D (ver Capítulo 2). El hecho de que la importancia de este grupo funcional se reduzca en las parcelas labradas del primer al sexto año frente a las desbrozadas, indicaría que el manejo del suelo anterior al experimento, el grabeo, favorece una mayor presencia de formas perennizantes frente al laboreo superficial, lo que tiene sentido ya que éste último trabaja la zona donde los individuos de este biotipo mantienen las yemas durante la estación seca.

Figura 1.8. Evolución de la Abundancia relativa y absoluta del grupo Perennizantes (2004-2009).



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. Test ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 3. Veza sembrada (Fotos 1.13-1.14). Este grupo está representado exclusivamente por la especie sembrada *Vicia sativa*, que presenta rasgos que la diferencian de otros grupos de forma clara. Su posicionamiento principal responde a la ventaja comparativa que le confiere su siembra y germinación otoñal, comportando una alta capacidad de dominancia sobre el conjunto. Se trata de un grupo de hojas grandes que alcanza altura gracias a su biotipo trepador, con semillas grandes. Además de fijar nitrógeno, presenta una alta cobertura, y es el grupo más productivo. Produce la mayor cantidad de biomasa aérea, y por tanto, supone la captura de más carbono y nitrógeno atmosférico. Su pronta germinación asegura la protección del suelo ya en otoño (Foto 1.13), y su corte antes de la fructificación (Foto 1.14), asegura un menor consumo de recursos frente a su eliminación tardía en mayo, a la vez que limita la capacidad de rebrote de la veza. Su incorporación en el mes de abril, asegura su floración y por tanto la disponibilidad de polen y néctar, a la vez que supone la incorporación al suelo de un residuo con gran cantidad de nitrógeno y de fácil descomposición. Así pues, la importancia

funcional de este grupo radica básicamente en su capacidad de fijar nitrógeno, e incorporarlo al suelo como un abono verde. Asimismo, la incorporación de una alta densidad de semilla al suelo, independientemente del índice de germinación, ya supone un aporte externo de energía en forma de nitrógeno. En cualquier caso, tanto como semilla, planta, o abono verde, estimula el crecimiento de otras plantas. Por otro lado, una densidad de siembra demasiado alta tiene consecuencias negativas sobre la diversidad de la cubierta debido a la competencia por la luz principalmente, favoreciendo las relaciones de dominancia. Los resultados de la Tabla 1.22, apuntan al hecho que la veza en el tratamiento VS aparece formando grupos de alta densidad con individuos de menor tamaño que los que aparecen en VI, mientras que en este tratamiento el grupo funcional de la Veza es significativamente más abundante.

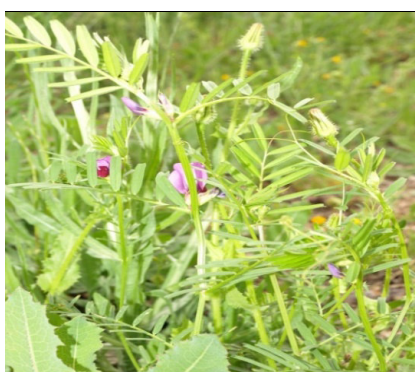
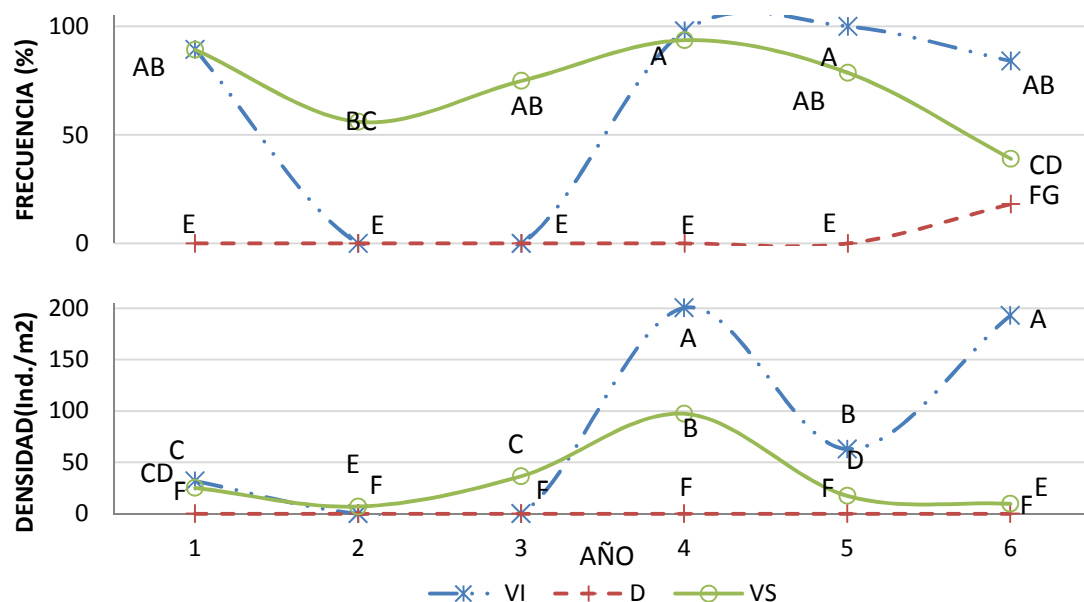


Foto 1.13 (izquierda): Cubierta sembrada de *Vicia sativa* en sus primeros estadios al inicio de invierno.
Foto 1.14 (derecha): veza en floración antes del primer control de la cubierta a final de abril

Figura 1.9. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Veza sembrada de 2004 a 2009.



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Los años en que la veza se presenta de forma poco frecuente, ésta aparece formando parte del grupo Competitivas (Tabla 1.20), razón por la que no aparece en el segundo y tercer año en VI como un grupo funcional diferenciado. Sin embargo, durante el ensayo, la veza aumenta su importancia en VI mientras que se reduce en VS, con diferencias significativas a partir del

cuarto año y hasta el final del estudio (Figura 1.9; Anexos 1.F y 1.G). Asimismo, el último año de ensayo, también la frecuencia de aparición de este grupo funcional se ve reducida en VS con valores significativamente menores a los que aparecen en VI. La ventaja que optiene la veza al ser enterrada para su siembra marca la gran diferencia en el porcentaje de germinación, significativamente mayor en la cubiertas de veza labrada, a la que sucede en las parcelas desbrozadas. Estas diferencias se atenúan los años en que la mitad de la siembra de la veza se realiza en primavera, aumentando la densidad de veza en VS pero en cualquier caso, manteniéndose estos valores en unos 75 ind./m² por debajo de los obtenidos para VI. Este grupo resulta ser protagonista de un cambio de tendencia en las cubiertas de veza labradas, donde su alta densidad afecta tanto a la composición florística como a los ciclos del nitrógeno y del agua de forma directa.

GRUPO 4. Competitivas (Fotos 1.15-1.16). Este grupo está caracterizado por las crucíferas de germinación y floración temprana. Se trata de formas erectas anuales de talla alta y raíz pivotante hasta los 11 centímetros de profundidad, lo que unido a su elevada cobertura (hasta 250 Ind./m²), contribuye a aumentar la porosidad del suelo eficazmente (Foto 1.15). Presenta hojas de medianas a grandes, y la segunda mayor productividad por detrás de la veza sembrada, lo que implica una mayor evapotranspiración respecto a otros grupos de pequeño porte. La floración de este grupo sucede a final de invierno, y su óptimo supone una explosión de color, polen y néctar. Este grupo se encuentra en su madurez cuando se realiza el primer control de la cubierta, lo que supone un gran aporte de material lignificado al suelo con su incorporación. Asimismo, su temprana germinación y rápido crecimiento, asegura su supervivencia y explica su alta capacidad competitiva frente a la veza, no presentando ante la eliminación de la cubierta, capacidad de evitación ni de regeneración. La contribución de este grupo a la protección del suelo frente a la erosión es clara, ya que sus hojas, durante el desarrollo vegetativo, permanecen cerca del suelo, formando una especie de roseta basal, lo que unido a una gran densidad de individuos por metro cuadrado, asegura una excelente cobertura a final de otoño. Es un grupo de crecimiento rápido acompañado de una considerable producción de biomasa lignificada, lo que conlleva una importante captura de carbono. Por otro lado, su floración y fructificación a final de invierno, cuando debe movilizar más recursos, coincide con las mayores reservas de agua del suelo, y la menor actividad del cultivo (Foto 1.15). Este grupo podría tener un efecto negativo sobre el balance de agua del suelo tan solo en los años con otoño-invierno con sequía. Además, se perfila como un buen indicador para detectar el mejor momento de eliminación de las cubiertas vegetales naturales en los olivares de secano labrados de cara a conservar el agua en el suelo.

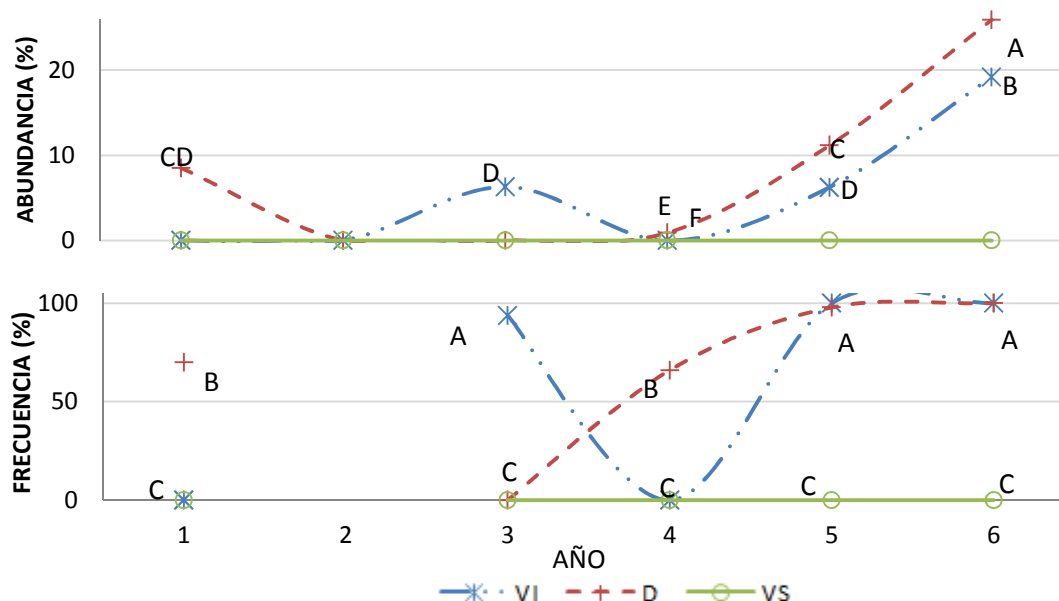


Foto 1.15 (izquierda):
grupo Competitivas
en flor, máxima
floración de
Diplotaxis virgata

Foto 1.16 (derecha):
*Capsella bursa-
pastoris* en flor

La evolución de este grupo durante los seis años de estudio (Figura 1.10; Anexos 1.F y 1.G), indica que es característico de los tratamientos en que se laborea el suelo, ya que en VS no se identifica. La tendencia al alza en la importancia del grupo Competitivas en los tratamientos labrados, sucede en la segunda mitad del ensayo. Su biotipo erecto, su fenología temprana, la profundidad de sus raíces y una semilla que prefiere ser enterrada de forma superficial, hacen que este biotipo prolifere en las cubiertas labradas. Sin embargo, en la cubierta de veza labrada, la alta densidad de veza promueve con el tiempo, una menor presencia de este grupo funcional. De este modo, se presenta significativamente menos abundante en las cubiertas espontáneas labradas que en las cubiertas con veza labradas los dos últimos años de estudio. Este comportamiento también queda reflejado en el análisis conjunto de los datos (Tabla 1.22), resultando significativamente más abundante y frecuente en las cubiertas naturales.

Figura 1.10. Evolución de la Frecuencia y Abundancia relativa del grupo Competitivas (2004-2009).

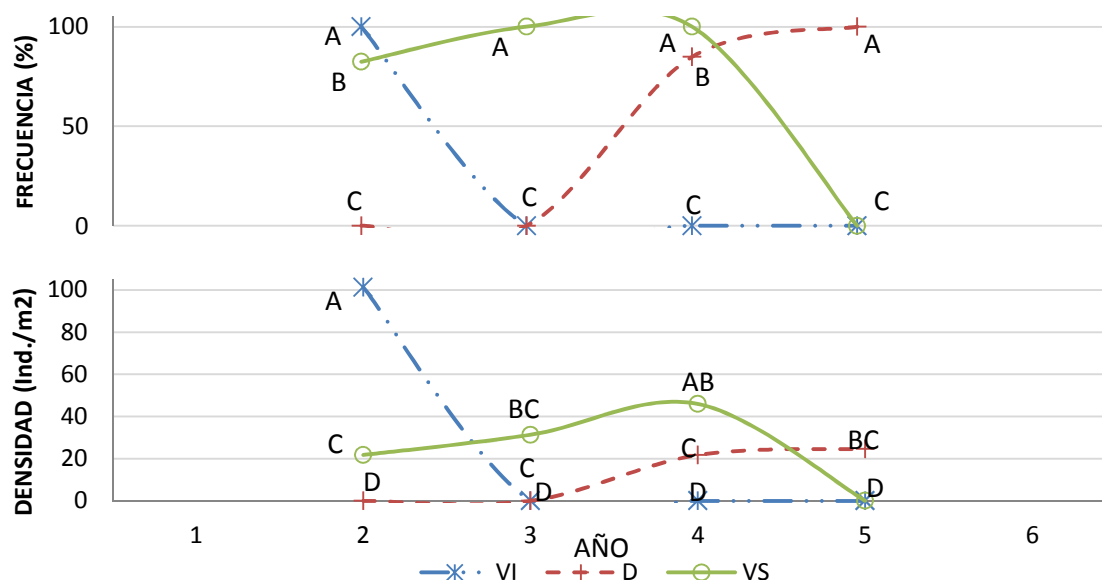


VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 5. Flor de invierno (Fotos 1.17-1.19). Este grupo germina tempranamente, en otoño-invierno y florece en febrero con polen y néctar disponible hasta el mes de marzo-abril. Los representantes de este grupo son terófitos erectos de altura media-baja, en torno a los 13 cm, y hojas de pequeñas a medianas, provistos de un sistema radicular profunda en torno a los 6 cm. Presenta una baja producción de biomasa aérea y subterránea y una baja cobertura del suelo. Debido a su bajo porte, sus pequeñas hojas y su fenología, supone una baja evapotranspiración y captura de carbono, y por tanto un reducido consumo de recursos. Estos rasgos pueden ser respuesta a la poca profundidad del suelo y a su sequedad. Antes del primer corte se encuentra ya finalizando su ciclo vital, en fase de madurez, lo que asegura su contribución al banco de semillas del suelo. No presenta estrategias para evitar el control de la cubierta o regenerarse tras el mismo. Está representado por especies ruderales y arvenses, propias de lugares abiertos y suelos secos. Es característica la especie *Alyssum simplex*, presente en pastizales, pedregales y zonas erosionadas. *Alyssum* aparece acompañada por *Lamium amplexicaule*, que soporta mejor la sombra aunque prefiere pleno sol, y es indicadora

de sequedad moderada y riqueza en nutrientes. La temprana germinación y floración de este grupo contribuye a la protección del suelo a final de otoño, y al mantenimiento de la fauna a final de invierno e inicio de la primavera.

Figura 1.11. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Flor de invierno de 2004 a 2009.



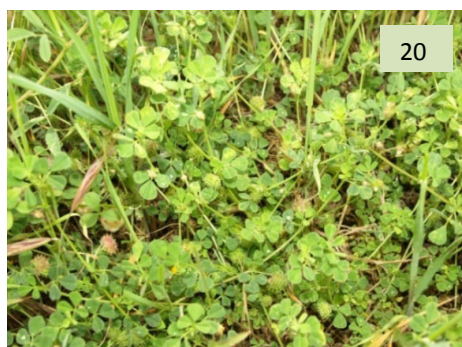
VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Aunque no es posible diferenciar una tendencia clara en la evolución de este grupo funcional (Figura 1.11 y Anexo 1.G), sí se observa cómo, al inicio del estudio, el cambio de manejo que supone la siembra de cubierta favorece su presencia en VI y hasta el cuarto año de forma significativamente más importante en VS. Por el contrario, en la segunda mitad del estudio, el cuarto y quinto año, su importancia aumenta en las cubiertas espontáneas. La pronta germinación otoñal de este grupo, implicaría un menor éxito en aquellas cubiertas en las que se mueve el suelo en otoño, como en el caso de la siembra de veza en las cubiertas labradas. Sin embargo, el hecho de que esta especie aparezca en lugares abiertos, limitaría su éxito los años en que se siembra la veza tempranamente en otoño, compitiendo por la luz. La cubierta espontánea implica un mayor acceso a la luz al estar rodeada de otras especies, que aunque mucho más grandes también tienen crecimiento erecto, así como una menor competencia por el espacio, la luz y los recursos en los primeros estadios.



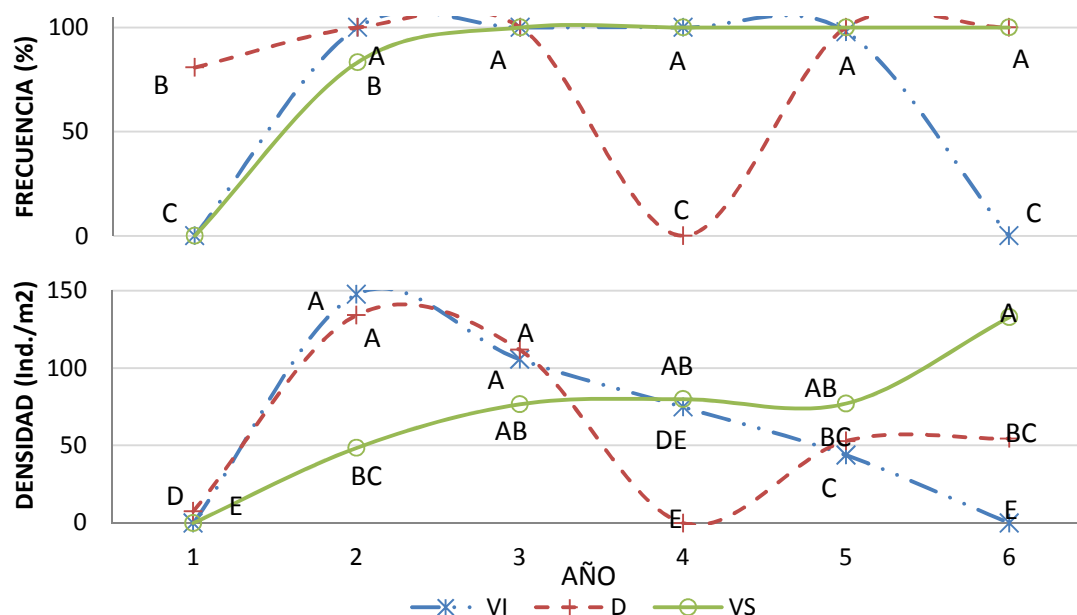
Fotos 1.17 a 1.19: Grupo Flor de invierno (de izq. a drcha.) *Alyssum simplex* en flor y en fruto.

GRUPO 6. Fijadoras rastreras (Fotos 1.20-1.23). Este grupo se perfila de mayor importancia al igual que el de las gramíneas, manteniéndose casi invariable en composición y tamaño a lo largo del tiempo en todos los tratamientos. Se trata de un grupo compuesto exclusivamente por leguminosas silvestres de pequeña talla, siendo característico el género *Medicago*. Las leguminosas presentes son anuales y tienen un crecimiento rastrero, además de hojas medianas, compuestas por pequeños folíolos. Sus finas raíces pivotantes alcanzan los 9 centímetros de profundidad, y la mayoría presentan nódulos fijadores de nitrógeno. Su floración sucede durante la primavera, y antes del primer corte de la cubierta se encuentra en flor y fruto. Sin embargo, este grupo tiene la capacidad de evitar el corte por su baja altura (excepto para *Trigonella monspeliaca*), además de contar con mecanismos de regeneración tras el mismo. Se trata de un grupo que aporta de media, 32 gramos de materia seca por metro cuadrado antes del primer control, y que presenta un alto índice de cobertura. Aunque la movilización de recursos pareciera moderada por el bajo porte de estas especies, sus requerimientos aumentan con la producción de semilla, cuando aumenta la biomasa producida, y por tanto la captura de carbono y la evapotranspiración, esto es tras el primer control. Su crecimiento horizontal rastrero aplicado al suelo, y su alta frecuencia de aparición le confieren la capacidad de cubrir el suelo durante el invierno de forma rápida y eficaz, siendo un grupo muy adecuado para el control de la erosión (Fotos 1.20-1.21). Asimismo es indicado para suelos en pendiente que no se mueven, por tener capacidad de autoresiembrar. La fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico al suelo por parte de este grupo es esencial para mantener las cubiertas vegetales en zonas semiáridas y en suelos pobres, ya que se trata de un grupo mejorante propio de los terrenos secos. Asimismo, esta vegetación aunque podría tener un uso forrajero por su alto contenido proteico, resulta un pasto poco productivo y en general, no soporta bien el pisoteo.



Grupo Fijadoras rastreras, Foto 1.20: Estrato rastrero formado principalmente por *Medicago minima* y *Medicago polymorpha*; foto 1.21: *Medicago orbicularis* y *Medicago minima* en flor y fruto; foto 1.22: *Trifolium tomentosum*, *Trifolium scabrum* y *Medicago minima* en flor y fruto; 1.23: *Trigonella monspeliaca*, *Trifolium scabrum* y *Medicago minima*

Figura 1.12. Evolución de la Frecuencia y Densidad del grupo Fijadoras rastreras (2004-2009).



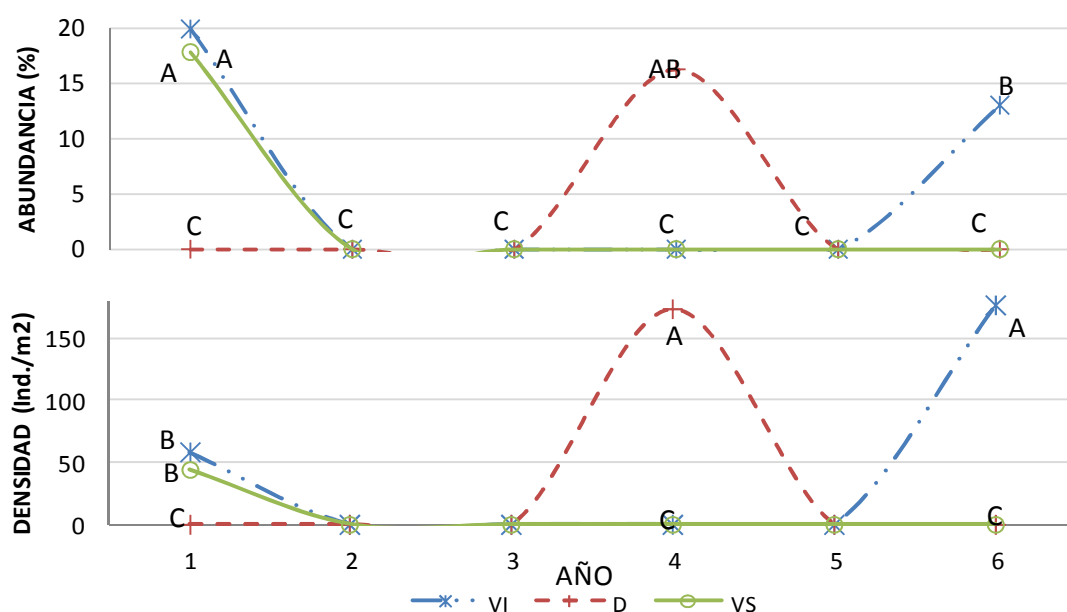
VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El grupo de las fijadoras rastreras, sigue una tendencia al alza durante la primare parte del estudio en todas las cubiertas (Figura 1.12; Anexos 1.G y 1.F), aunque con una abundancia significativamente menor en las cubiertas desbrozadas el segundo y tercer año. Sin embargo, a partir del cuarto año, se produce un cambio de tendencia, pasando a ser la cubierta desbrozada la que aumenta de forma continua y consistente la abundancia relativa y absoluta de este grupo, con diferencias significativas en el quinto año, que se maximizan en el sexto. El último año, este grupo es significativamente más importante en la cubierta desbrozada, seguido de la cubierta natural, que a su vez presenta valores significativamente mayores a los de las cubiertas de veza labrada. El sexto año, este grupo se encuentra ausente en VI debido a que su única representante, *Medicago minima* se agrupa con la especie *Erodium cicutarium*. Es probable, que la disminución de la importancia de las fijadoras rastreras en VI, responda en parte, a la alta densidad de veza que se presenta en este tratamiento en la segunda mitad del estudio, acentuándose las relaciones de competencia. Sin duda, este grupo guarda una estrecha relación con el de la veza, ambos mejorantes, y el comportamiento diferencial de estos grupos en función del tratamiento ensayado, debe ser causa, y a su vez tener algún efecto sobre el ciclo del nitrógeno en el agroecosistema.

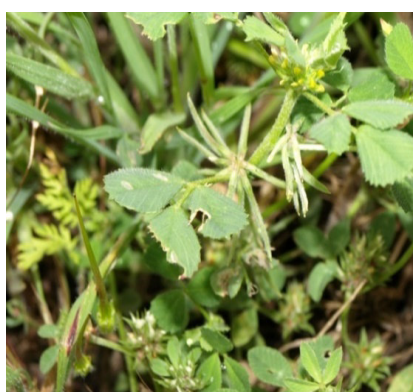
GRUPO 7. Ruderal seco (Fotos 1.24-1.25). Este grupo germina en otoño-invierno y su floración se extiende desde enero hasta final de la primavera; está provisto de flores pequeñas que disponen de polen y en menor medida de néctar. Las especies características son del género *Medicago*, acompañadas por *Erodium cicutarium*. Antes del primer control de la cubierta las encontramos en floración y fructificación. Presentan hojas medianas aplicadas al suelo, y raíces de unos 9 centímetros de profundidad. Su escasa altura y su biotipo rastrero y rosulado permite no solo escapar a la siega, evitándola, sino que además, posee la capacidad para regenerarse. Esta regeneración en parte comprende la capacidad de volver a germinar tras el control. Este grupo se caracteriza también por presentar una germinación escalonada desde

otoño hasta entrado el verano. Muestra una producción media de biomasa y un índice de cobertura alto, movilizandando la mayor parte de los recursos necesarios antes del primer control de la cubierta, cuando presenta la mayor evapotranspiración y captura de carbono. Sin embargo, acumula todavía más biomasa hasta finalizar su ciclo, entre el primer y segundo control. Este grupo tolera la sombra, y es propio de lugares secos, como pastizales y herbazales; forma parte de comunidades de terófitos de carácter arvense, viario o escionitrófilo en suelos nitrificados. Sin embargo, no es propio de suelos muy fertilizados. Este grupo garantiza una eficaz protección del suelo frente a la erosión hídrica, desde final de invierno hasta final de primavera.

Figura 1.13. Evolución de la Abundancia y Densidad del grupo Ruderal seco (2004-2009).



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).



Grupo Ruderal seco, foto 1.24 (izquierda): cubierta otoñal-invernal con rosetas de *Erodium cicutarium*, y primeras hojas de *Medicago* spp.; foto 1.25 (derecha): detalle del fruto de *Erodium cicutarium* junto a fijadoras rastreras

Este grupo aparece los años en que la leguminosa rastrera *Medicago minima* en las cubiertas labradas alcanza los valores más bajos de abundancia relativa, en torno a un 2%. En estos casos aparece este grupo “Ruderal seco”, representado por el carretón menor y la especie *Erodium cicutarium*. Cuando se analizan los datos de forma conjunta (Figura 1.13 y Tabla 1.22), se observa como la importancia de este grupo es significativamente mayor en las parcelas de

veza labrada, frente a las cubiertas naturales y las de veza desbrozada. Aunque su densidad y frecuencia es significativamente mayor en VI, seguido por D, y en último lugar VS. Este comportamiento sería indicador, por un lado, de la capacidad de tolerar la sombra de este grupo, proliferando en cubiertas de mayor altura, y su preferencia por los suelos laboreados superficialmente.

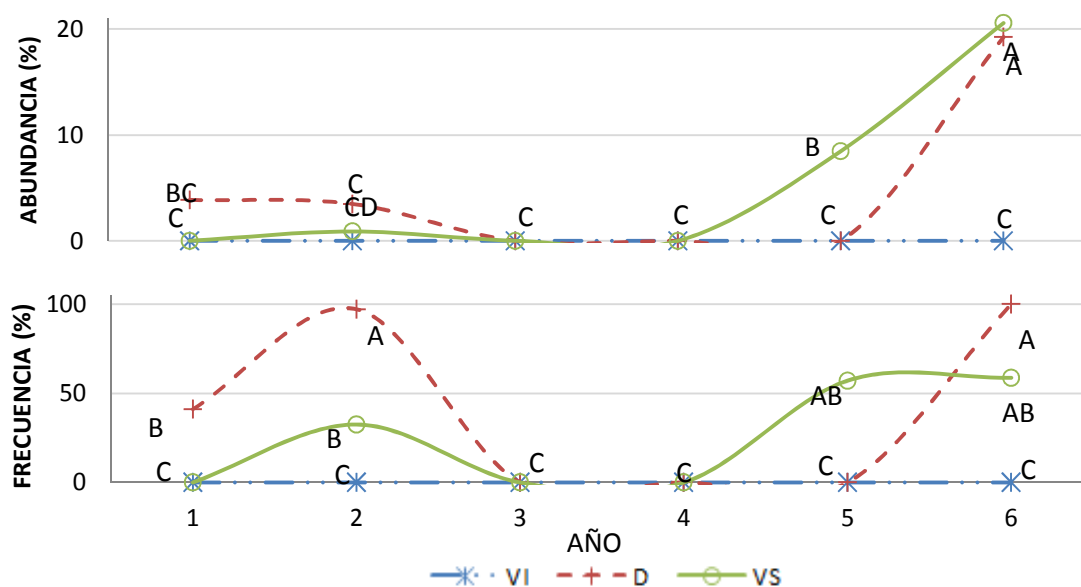
GRUPO 8 . Flor tardía (Fotos 1.26-1.29). Este grupo se caracteriza por presentar floraciones que se alargan hasta entrado el verano, e incluso hasta el otoño en condiciones favorables (principalmente en los ruidos, p.ej. *Sonchus oleraceus* o *Convolvulus arvensis*). Antes del primer control de la cubierta, las encontramos tanto en estadio de plántula y pre-floración como en flor y fruto, alcanzando una altura entorno a los 6 centímetros, lo que les permite, en parte, evitar la altura de la siega. También son rasgos indicadores de la capacidad de evitación, el crecimiento en roseta, o mantener gran parte de sus hojas cerca del suelo. Otra característica de este grupo es la capacidad de regeneración, incluyéndose la capacidad de germinar de nuevo en el mes de mayo. Poseen hojas de medianas a grandes y una semilla de tamaño medio, se trata de un grupo bastante productivo, que aporta polen y néctar durante casi todo el año. Este grupo es importante por representar el solapamiento de las flores de invierno-primavera con las de verano-otoño, dándole posibilidad a la cubierta de expresarse más allá del primer corte. El consumo de recursos por parte de este grupo se da antes del primer control, por parte de *Erodium cicutarium* y *Calendula arvensis*, que aunque pequeñas tienen una gran cobertura y raíces engrosadas, pero también se produce un consumo de recursos antes del segundo control, con la floración de *Sonchus oleraceus*, *Leontodon longirostris* y *Convolvulus arvensis*, que aunque con una cobertura significativamente menor, acumulan más biomasa, alcanzan más altura y poseen sistemas radiculares más profundos. Teniendo en cuenta la biomasa aérea producida por este grupo, sus hojas de medianas a grandes y su fenología más tardía, su evapotranspiración debe ser significativa los años con primaveras secas.



Grupo Flor tardía. Foto 1.26: rosetas basales de *Sonchus* sp. y *Calendula arvensis*. Foto 1.27: grupo de *Sonchus oleraceus* en flor. Foto 1.28: primeros estadios de *Convolvulus arvensis* junto a *Erodium malacoides* en flor. Foto 1.29: rosetas de *Erodium cicutarium* junto a *Leontodon longirostris* en flor

La evolución de este grupo a través de los seis años de estudio indica una tendencia al alza en su abundancia con diferencias significativas entre el primer y el último año (Figura 1.14; Anexos 1.F y 1.G). Sin embargo, esto sucede únicamente en las cubiertas naturales y en las de veza desbrozada. Asimismo, esta tendencia se acentúa durante los dos últimos años en las cubiertas de veza desbrozada, alcanzando el sexto año los valores máximos de abundancia en los tratamientos D y VS. Al tener este grupo una larga presencia sobre el suelo, se ve limitada su proliferación en las cubiertas de veza labrada, cuyos ritmos son más marcados tanto en otoño, por el movimiento del suelo y una importante germinación de veza a alta densidad, así como dos labores en primavera que interrumpen su crecimiento sobre todo los años con primaveras secas, dificultando también su nueva germinación. La presencia de este grupo en las cubiertas primaverales indica la capacidad de las cubiertas vegetales para expresarse más allá del primer control hasta entrado el verano hasta que las condiciones de humedad lo permiten. Lo que coincide con el hecho de que antes del segundo control de la cubierta, todas las representantes de este grupo se presentan de forma importante, sobre todo en VS donde escapan a la altura de corte.

Figura 1.14. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Flor tardía (2004-2009).



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 9. Escionitrófilas (Fotos 1.30-1.31). Este grupo germina en otoño, cubriendo el suelo de forma muy eficaz tempranamente, e iniciando su floración ya en el mes de diciembre-enero. Posee hojas de pequeñas a medianas, semillas pequeñas, y una raíz que ahonda 9 centímetros en el suelo. Es un grupo ruderal y arvense, de suelos moderadamente secos y nitrificados, que tolera la sombra. Antes del control, a final de abril, se encuentra fructificando, con el consiguiente consumo de agua y nutrientes. Aún tener un pequeño porte, tiene una productividad alta, acumulando la mayor parte de materia seca aérea al inicio de la primavera. Sin embargo, su capacidad de evitar el desbrozado, por su porte rastrero y rosulado, y su baja talla, así como su capacidad de regenerarse tras el mismo, supone una movilización de recursos, también tras el primer control de la cubierta. Tal como se advierte en las fotos, estas

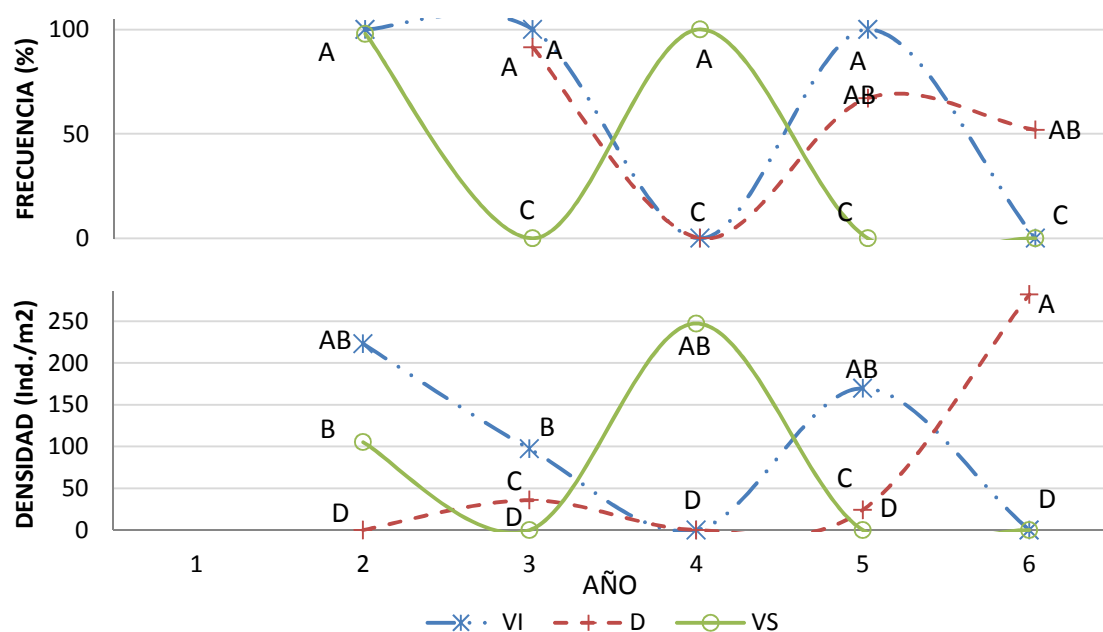
especies cubren el suelo tempranamente de forma horizontal, reduciendo el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, ya desde otoño, y más tarde tolerando la sombra de los estratos superiores. De igual modo son una fuente de polen a final de invierno e inicio de la primavera. Este grupo siempre está representado por *Stellaria media* y *Erodium cicutarium*.



Detalle de la cubierta otoñal: desarrollo de las primeras hojas de *Stellaria media* (Foto 1.30, izquierda) y *Erodium cicutarium* (Foto 1.31, derecha).

Atendiendo al análisis conjunto de los datos cuyo resultado se muestra en la Tabla 1.22, este grupo funcional tiene una importancia significativamente mayor en las cubiertas de veza labradas, seguidas de las naturales y en último lugar las cubiertas de veza desbrozada, con valores de densidad y frecuencia significativamente menores. Por otro lado, si se analiza la evolución de estos indicadores en el tiempo (Figura 1.15; Anexos 1.F Y 1.G) se observa un cambio de tendencia en la última mitad del estudio, cuando este grupo protagoniza una tendencia al alza en la cubierta espontánea, presentando valores significativamente mayores en abundancia y frecuencia el sexto año frente a las cubiertas sembradas, donde no aparece representado.

Figura 1.15. Evolución de la Frecuencia relativa y la Densidad del grupo Escionitrófilas (2004-2009).



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 10. Esciófilas evitadoras (Fotos 1.32-1.33). Este grupo está formado por especies capaces de vivir en penumbra, son indicadoras de suelos de moderadamente secos a húmedos y ricos en nutrientes. Inicia su floración a mitad de invierno, extendiéndose hasta principio de verano. Se trata de flores pequeñas con polen disponible, y en menor proporción con néctar. Poseen la capacidad de evitar la perturbación debido a su crecimiento rastrero y rosulado, y su baja altura. Presenta hojas de pequeñas a medianas, semillas pequeñas y raíces de unos 6 centímetros de profundidad. Funcionalmente este grupo implica la presencia de un estrato vegetal por encima de éste, que lo sombrea y promueve su desarrollo. Su crecimiento rastrero, decumbente o directamente aplicado al suelo, supone una protección frente a la erosión hídrica. Antes del primer control, este grupo se encuentra, en su mayor parte en flor y/o fruto, por lo que se encuentra movilizando recursos para finalizar su ciclo, sin embargo, su capacidad en parte de regenerarse y de evitar la perturbación, conlleva una nueva movilización de recursos tras el primer control de la cubierta. A pesar de su poca altura, es un grupo que presenta una alta cobertura, produciendo 46 gramos de materia seca por metro cuadrado, con una tasa de evapotranspiración que debiera ser moderada debido a sus hojas de pequeñas a medianas y a su localización a la sombra de estratos superiores. Este grupo está representado al inicio del ensayo por *Stellaria media*, *Erodium cicutarium*, *Arenaria serpyllifolia* y *Filago pyramidata*. Por el contrario, a partir del cuarto año, el grupo lo forman *Stellaria media* y *Verónica spp.*

En términos absolutos, la cubierta que presenta una mayor densidad de individuos pertenecientes a este grupo, durante los seis años de ensayo, es la cubierta espontánea (Tabla 1.22). Sin embargo, si atendemos a la evolución en el tiempo (Figura 1.16; Anexos 1.F y 1.G) resulta que el único tratamiento donde ha disminuido de forma significativa la abundancia y la frecuencia del primer al último año, es en la cubierta natural. Este grupo se presenta al inicio del ensayo de forma significativamente más abundante en el tratamiento con la cubierta espontánea labrada, mientras que en la segunda parte del estudio, su abundancia en las cubiertas naturales disminuye, presentándose los valores máximos para el tratamiento con cubierta sembrada de veza y labrada.

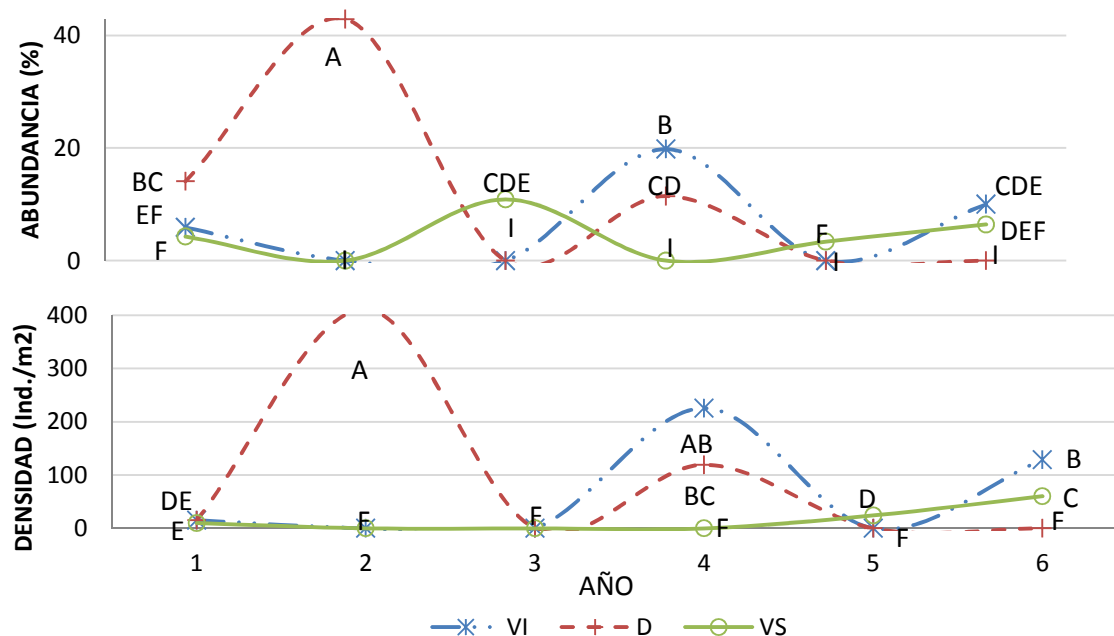


Veronica hederifolia (Foto 1.32, izquierda) y *Stellaria media* (Foto 1.33) son características de este grupo

Del quinto al sexto año de estudio la importancia de este grupo aumenta en las cubiertas sembradas, sin embargo, alcanza valores de densidad significativamente mayores en las cubiertas de veza labradas que en las de veza desbrozadas. Este grupo parece presentarse en las cubiertas más cerradas (las sembradas), nitrificadas y con un mayor contenido de agua al inicio de la primavera. La aparición al final del ensayo de la especie *Veronica persica* formando parte de este grupo, indica que éste es propio de suelos con cierta humedad. La proliferación de este grupo está relacionada con una mayor complejidad o “madurez” de la cubierta a nivel

estructural, así como de un cambio en los contenidos de nitrógeno y humedad del suelo. De este modo, tras seis años de estudio, este grupo pasa a ser más importante en VI, seguido de VS, y en último lugar D.

Figura 1.16. Evolución de la abundancia del grupo Esciófilas evitadoras (2004-2009).



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

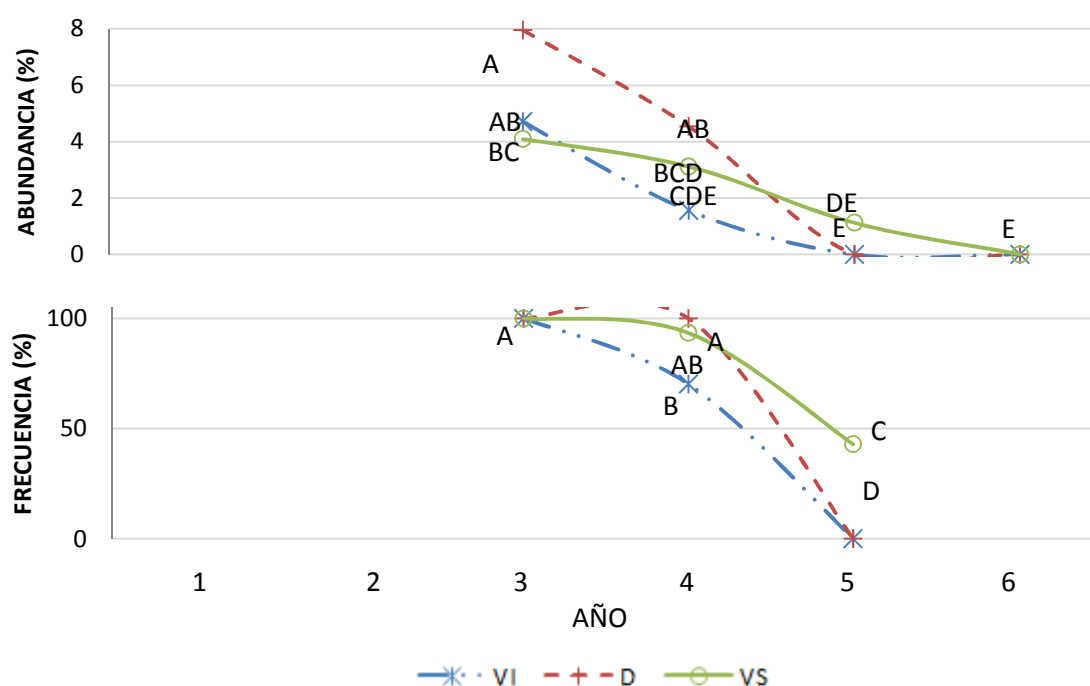
GRUPO 11. Pequeñas pratenses (Fotos 1.34-1.36). Este grupo se caracteriza por su pequeño porte, por tener muy baja altura (sobre los 4 cm), así como el sistema radicular menos profundo, las semillas más pequeñas, y la menor productividad registrada. Se trata de terófitos erectos, rastreros y rosulados, propios de los prados anuales o pastizales secos, básicamente de la familia de las Cariofiláceas. Esta agrupación cuenta con un óptimo de floración primaveral, que puede alargarse hasta entrado el verano. Antes del primer control de la cubierta se encuentran en estado de flor-fruto y madurez, lo que se une a su capacidad de evitar la altura del desbrozado, garantizando así completar su ciclo vital. Este grupo pone a disponibilidad de la fauna poco polen y ningún néctar. Parece indicador de una transición entre una vegetación más ruderal y arvenses, y otra propia de una pastura seca poco nutritiva en suelos delgados. Su escaso porte y enraizamiento, así como su poca necesidad de agua y su preferencia por los lugares abiertos, aseguraría la vegetación de los claros donde el suelo es menos profundo y con una menor disponibilidad de agua. Este grupo poco productivo no supone una movilización importante de recursos para su desarrollo. Por su naturaleza efímera, este grupo implica una baja captura de carbono y una baja evapotranspiración. Sin embargo, sí contribuye a cerrar la cubierta horizontalmente cerca del suelo, en invierno-primavera, ya que forma parte del estrato más bajo. Este grupo aparece a partir del tercer año en todas las cubiertas, está representado por *Minuartia hybrida* en todos los tratamientos, acompañada al inicio por *Arenaria serpyllifolia* en las cubiertas con veza labradas y por *Holosteum umbellatum* de manera consistente en las cubiertas naturales y en las sembradas y desbrozadas.



Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.34: *Holosteum umbellatum*. Foto 1.35: *Minuartia hybrida*. Foto 1.36: *Arenaria serpyllifolia*

Si se analizan los datos de forma conjunta, resulta este grupo significativamente más abundante y frecuente en las cubiertas de veza desbrozadas. Si atendemos a la evolución en el tiempo (Figura 1.17; Anexos 1.F y 1.G) tanto la frecuencia como la abundancia se reducen en todos los tratamientos, de forma más acusada en VI, y más progresivo en las cubiertas naturales. En las cubiertas de veza desbrozada, también se reduce la importancia de este grupo, que el quinto año presenta una densidad de 21 individuos por metro cuadrado (la mitad que los dos años anteriores), mientras que ya no aparece representado en las cubiertas labradas. Teniendo en cuenta que este grupo es propio de los pastos terofíticos secos del mediterráneo, parece lógico pensar que prefiere aquellas cubiertas en las que el suelo no se mueve, no está tan nitrificado y en cubiertas abiertas de baja altura. Además, no suele aparecer como arvense en los cultivos, por lo que tiene menos éxito en las cubiertas con un manejo más intensivo, como es la cubierta sembrada de veza y labrada. Por tanto su reducción indicaría una mayor perturbación, o mayor enriquecimiento del suelo.

Figura 1.17. Evolución de la Abundancia y Frecuencia relativa del grupo Pequeñas pratenses de 2004 a 2009.



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. Test ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 12. Margaritas (Fotos 1.37-1.41). Este grupo está representado en su mayoría por especies de la familia Asteráceas, siendo característica *Anthemis arvensis*. Aunque el grupo presenta un óptimo de floración primaveral, ésta se extiende desde enero hasta entrado el verano, de forma abundante y colorida, ofreciendo polen y néctar. Estos terófitos pueden germinar en otoño o primavera, cuando las condiciones les son favorables. Presenta hojas y semillas de mediana talla, y una altura de mediana a baja, con raíces que llegan hasta los 5 cm. Aunque se trata de plantas erectas, todas ellas, en sus estadios iniciales presentan las hojas formando una roseta basal, más o menos definida. Antes del control en abril, se encuentran en flor, fruto y senescencia. Mientras que *Calendula arvensis* presenta su máxima floración a final de invierno, principio de primavera y de una forma escalonada, *Anthemis arvensis* florece más tarde en primavera, también tras el primer control de las cubiertas. A pesar de que la mayor movilización de recursos se concentra antes del primer control, la capacidad que poseen, en parte, para evitar y regenerarse tras la perturbación, conlleva una acumulación de materia seca y un consumo de agua que sucede también después del control. En cualquier caso, y a pesar de la altura que alcanzan, de su significativa cobertura y de su fenología, no destacan por su producción. Sí destacan por su estrecha relación con un grupo fundamental de la biodiversidad de las cubiertas como es la fauna del agroecosistema, ya sean pájaros o insectos, ya que proporciona refugio y alimento desde final de otoño hasta final de primavera. También destaca por su eficaz recubrimiento, en grupos grandes y con las hojas cerca del suelo, asegurando la protección del suelo desde final de otoño hasta final de primavera.

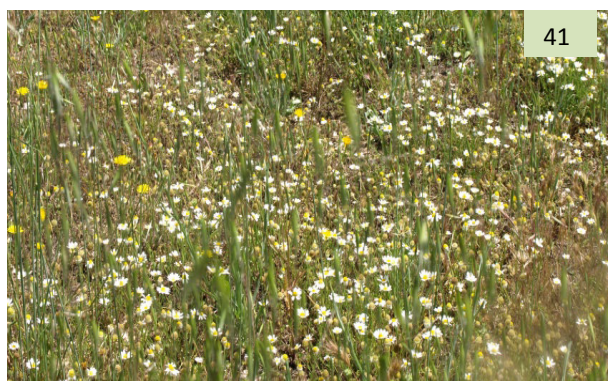
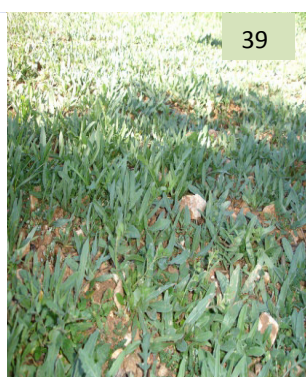


Foto 1.37:
Calendula arvensis
y *Anthemis*
arvensis en flor.

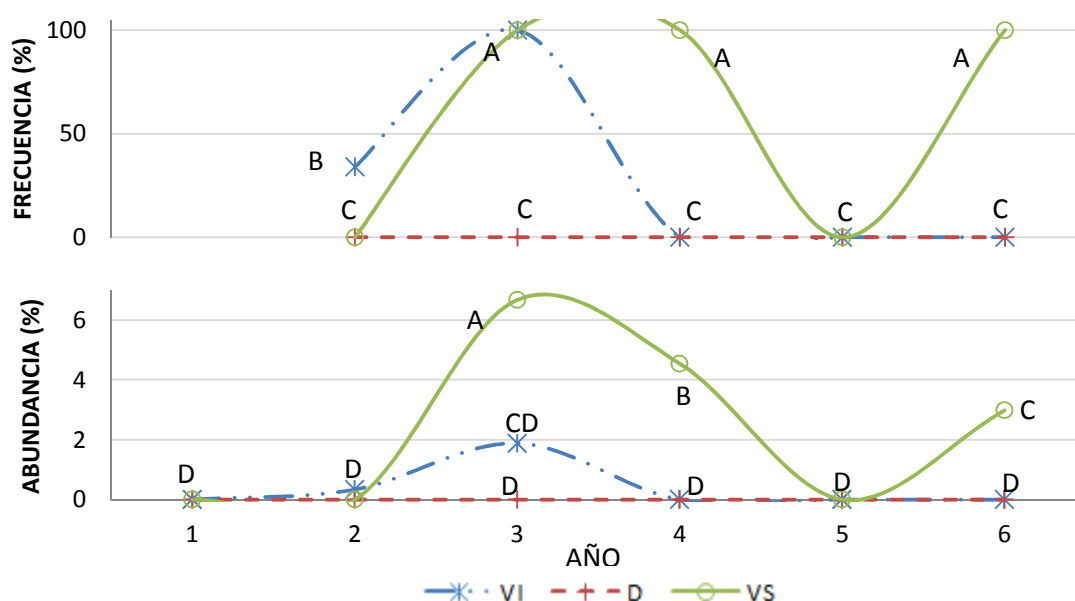
Foto 1.38:
Floración invernal
de *Calendula*
arvensis. Foto
1.39: Desarrollo
de las primeras
hojas de
Calendula

arvensis. Foto
1.40: *Calendula*
arvensis y
Anthemis arvensis
en desarrollo
vegetativo. Foto
1.41: Floración
primaveral de
Anthemis arvensis

Teniendo en cuenta el conjunto de datos (Tabla 1.22), el grupo de las Margaritas resulta ser significativamente más importante (abundante y frecuente) en el tratamiento con cubierta de veza desbrozada frente a las labradas. A pesar de presentarse este grupo el segundo y tercer año en la cubierta de veza labrada, en la segunda mitad del estudio, solo está presente en la cubierta desbrozada. Asimismo, está ausente en las cubiertas espontáneas durante todo el

ensayo. Del primer al último año de estudio, tanto la densidad como la frecuencia de este grupo funcional han tendido a incrementarse en las cubiertas desbrozadas, alcanzando los máximos valores el tercer, cuarto y sexto año de ensayo (Figura 1.18; Anexos 1.F y 1.G). La frecuencia es del 100% desde el tercer año, y alcanza los mayores valores de abundancia el tercer año (6% de los individuos totales y 80 Ind./m²), que luego se reducen hasta el final del ensayo representando el 2,6% de los individuos totales y con una densidad de 21 individuos por metro cuadrado. El hecho de tener una fenología más tardía, así como la posibilidad de germinar cuando las condiciones son óptimas y/o de forma escalonada, son estrategias vitales que se adaptan mejor a las cubiertas en las que no se mueve el suelo, que en las labradas, donde la cubierta primaveral se elimina totalmente a final de abril, y debe volver a recuperarse en función de las precipitaciones.

Figura 1.18. Evolución de la Abundancia y Frecuencia del grupo Margaritas de 2004 a 2009.



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

GRUPO 13. Ruderal vernal (Fotos 1.42-1.47). Este grupo se caracteriza por florecer desde febrero-marzo hasta final de primavera. Se trata de especies con una altura en torno a los 6 centímetros, con hojas de pequeñas a medianas, y raíces de unos 5 centímetros de profundidad. La mayoría de las flores de este grupo son pequeñas, y sólo algunas de ellas poseen polen y néctar disponible para la fauna. Antes del primer control de la cubierta, se encuentra en floración y fructificación, y aunque no tiene mecanismos de regeneración tras la perturbación, sí evita en parte el desbrozado al presentar formas de crecimiento rastreras y rosuladas. En cualquier caso, la mayor demanda de recursos por parte de este grupo, sucede antes del control de la cubierta. Además, su baja producción de biomasa, su baja cobertura y la baja talla de sus representantes, hacen pensar en una baja captura de carbono y un consumo de agua poco importante. Este grupo tiene un carácter ruderal, arvense, propio de pastizales secos y prados anuales. Al inicio del ensayo está representado principalmente por *Anthemis arvensis* y *Coronilla scorpioides*, que se caracterizan por tener una floración tardía, a final de primavera, así como ser propias de terrenos removidos y cultivos de secano. Sin embargo al

final del estudio, este grupo está representado por *Holosteum umbellatum* y *Cerastium glomeratum*, propias de los pastos efímeros, indicando una mayor humedad del suelo antes del primer control, así como una cobertura más cerrada.

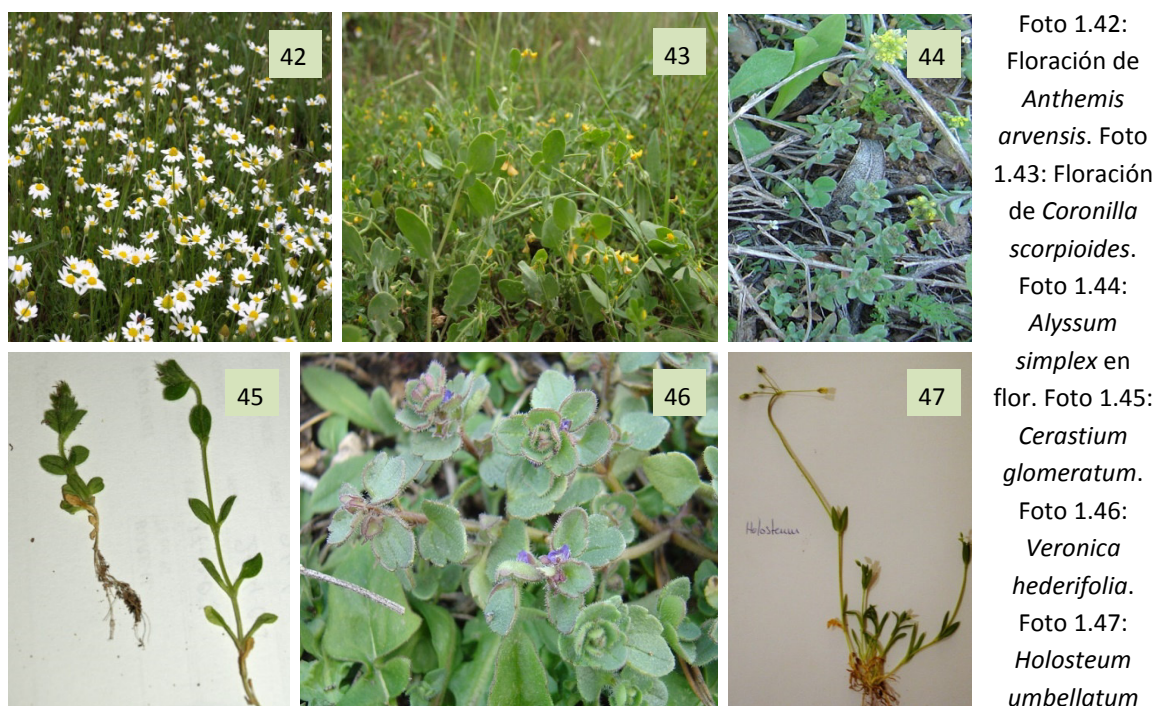
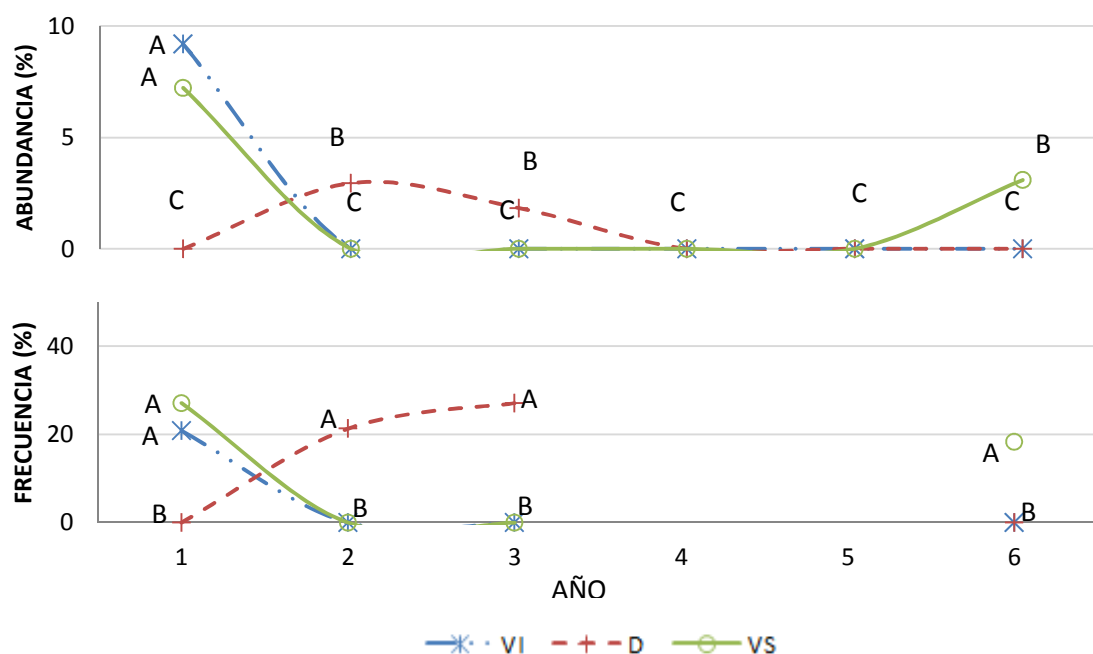


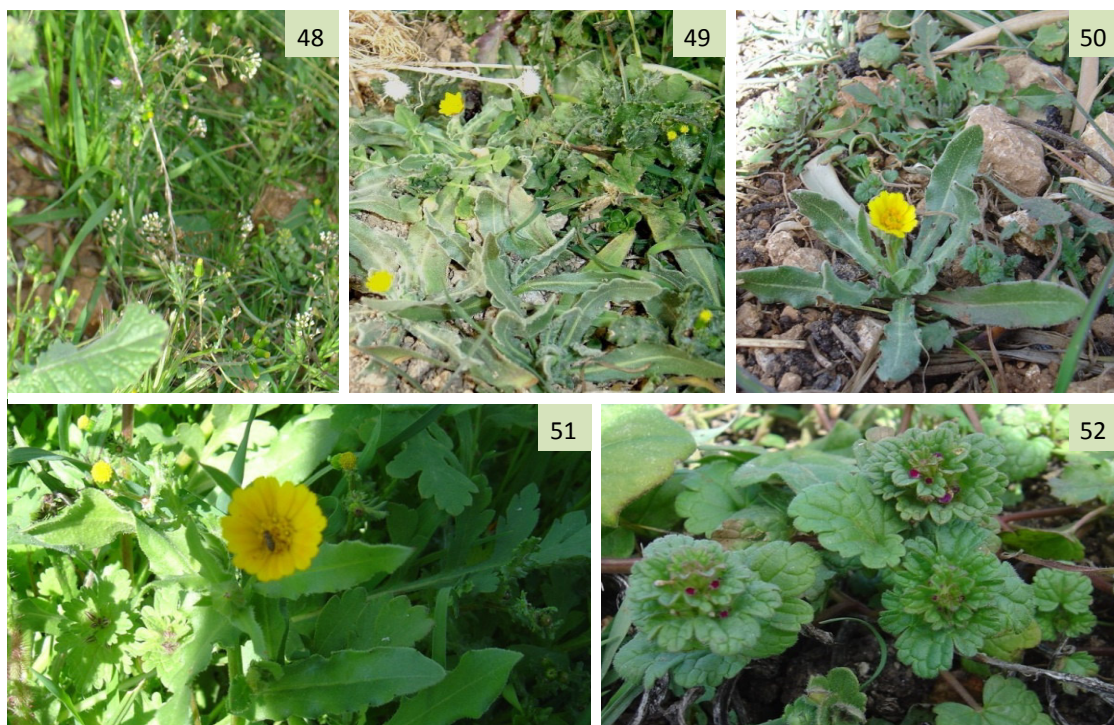
Figura 1.19. Evolución de la Abundancia y Frecuencia del grupo Ruderal vernal de 2004 a 2009.



Este grupo se presenta de forma más consistente al inicio del ensayo, cuando alcanza sus mayores valores de frecuencia y abundancia en las cubiertas sembradas el primer año de estudio, estando ausente el segundo y tercer año en las cubiertas de veza e incrementando su

importancia en las cubiertas espontáneas. Sin embargo, durante la segunda parte del ensayo este grupo sólo aparece el último año en las cubiertas desbrozadas con una abundancia de 3,5%, una frecuencia del 20% (Figura 1.19; Anexos 1.F y 1.G). En términos absolutos, durante los seis años de estudio, el tratamiento donde este grupo se presenta de forma significativamente más importante es el las cubiertas naturales, donde forma grupos más densos, aunque en conjunto su abundancia relativa es significativamente menor.

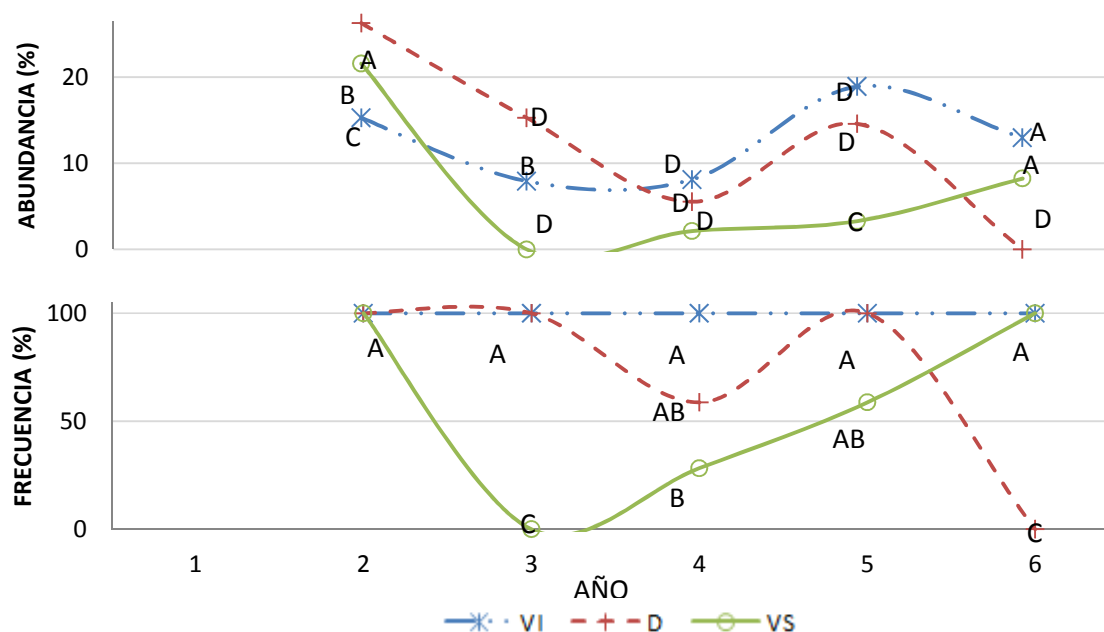
GRUPO 14. Flor temprana (Fotos 1.48-1.52). Este grupo está representado principalmente por terófitos erectos que germinan mayoritariamente en otoño-invierno, e inician su floración en el mes de enero. Alcanzan una altura media en torno a los 18 centímetros, presentan hojas de pequeñas a medianas, así como un sistema radicular poco profundo. Estas especies tienen flores con polen y néctar disponible para la fauna desde enero hasta la primera eliminación de la cubierta. En el mes de abril, antes del control, estas plantas se encuentran en estado de floración y fructificación, madurez y senescencia. Debido a que su máxima floración sucede a final de invierno, puede completar su ciclo antes del primer control de la cubierta, comportamiento que no compromete las reservas de agua para el olivar en un año de precipitación media bien distribuida. Posee en parte capacidad de regeneración, ya que algunos representantes pueden volver a germinar durante la primavera. Sin embargo, el mayor consumo de recursos se concentra antes del primer control, acumulando una cantidad de materia seca de 43 gramos por metro cuadrado, mientras que tras el primer control, la captura de carbono y la evapotranspiración de este grupo debe ser poco significativa. Su pronto establecimiento asegura protección al suelo ya a final de otoño, y su fenología temprana asegura su almacenamiento en el banco de semillas del suelo.



Grupo Flor temprana. Foto 1.48: *Capsella bursa-pastoris* y *Senecio vulgaris* en flor. Foto 1.49: *Calendula arvensis* y *Senecio vulgaris* en flor. Foto 1.50: *Calendula arvensis* en flor junto a *Lamium amplexicaule* y *Capsella bursa-pastoris* con las primeras hojas. Foto 1.51: *Calendula arvensis* junto a *Lamium amplexicaule* y *Senecio vulgaris*. Foto 1.52: *Lamium amplexicaule* en flor.

En base al análisis conjunto de los datos (Tabla 1.22), en términos absolutos, se puede afirmar que este grupo es significativamente más importante en los tratamientos con cubierta sembrada de veza y labrada, seguido por las cubiertas naturales labradas y en último lugar las cubiertas de veza desbrozadas. Sin embargo, si atendemos a los gráficos de evolución en el tiempo (Figura 1.20; Anexos 1.F y 1.G), observamos un cambio de tendencia entre la primera y la segunda mitad del ensayo. De este modo, al inicio la importancia de este grupo es mayor en el tratamiento D frente a VI, y en último lugar VS. Sin embargo, a partir del cuarto año y hasta el sexto, la cubierta de veza labrada incrementa la abundancia de este grupo de forma significativa, al igual que sucede en la cubierta desbrozada, donde además la frecuencia aumenta significativamente hasta alcanzar el 100% el último año. De este modo, el último año de estudio, es en las cubiertas sembradas de veza donde este grupo es significativamente más importante, frente a la cubierta natural donde no se encuentra representado. El grupo Flor temprana es indicador de un cambio de tendencia en las cubiertas sembradas. Sin duda adelantar la fecha de siembra de las cubiertas favorece el establecimiento de este grupo, que se sincroniza perfectamente con los ritmos marcados, sobre todo por las labores en el tratamiento VI, y el buen establecimiento de la veza.

Figura 1.20. Evolución de la Abundancia y Frecuencia del grupo Flor temprana de 2004 a 2009.



VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FUNCIONAL ANTES DEL PRIMER CONTROL (ABRIL)

La Tabla 1.24 muestra como la cubierta desbrozada presenta una riqueza de grupos funcionales significativamente mayor y una diversidad potencial máxima también mayor, ambos definen tres grupos diferenciados, el tratamiento VS con los valores más altos, seguido por VI, y en último lugar D. Para el conjunto de años de estudio, la cubierta de veza desbrozada es la que presenta valores significativamente mayores para la diversidad de grupos funcionales frente a las cubiertas espontáneas. Asimismo, la siembra de veza conlleva un Índice de Equidad mayor que en las cubiertas naturales. Esto concuerda con un Índice de

Dominancia significativamente mayor para las cubiertas naturales frente a las sembradas. Al analizar la evolución de los indicadores de diversidad y riqueza de grupos funcionales a través de los seis años de estudio (Tabla 1.25; Figura 1.21; Anexos 1.F y 1.G), las tendencias que se ponen de relieve son, por un lado, el mantenimiento de la riqueza y diversidad de grupos funcionales en el tratamiento VI, asimismo también se mantiene sin diferencias significativas del inicio al final del estudio, los valores para los índices de Equidad y de Dominancia. Por otro lado, aumenta la diversidad de grupos funcionales en el tratamiento D, no así la riqueza funcional que se mantiene, al igual que la Equidad; además, se reduce el índice de Dominancia. En cuanto al tratamiento VS, presenta un aumento tanto de la riqueza como de la diversidad de grupos funcionales, con diferencias significativas del primer al último año de estudio. Sin embargo, se mantienen invariables para este tratamiento los índices de Equidad y de Dominancia. La diversidad funcional se ve afectada tanto por el tipo de manejo del suelo, como por la siembra de veza. La siembra de la veza, conlleva un aumento de la diversidad funcional frente a las cubiertas espontáneas (Figura 1.21). Por otro lado, el desbrozado frente al labrado, promueve el aumento de la riqueza funcional y de la diversidad potencial máxima. El cambio de manejo hacia un laboreo más superficial del suelo promueve, en las cubiertas espontáneas un aumento de la diversidad funcional y una reducción del Índice de Dominancia de Simpson. De forma general, el laboreo superficial y el no laboreo frente al gradeo promueve las relaciones de equidad entre grupos funcionales frente a las de dominancia.

Tabla 1.24. Diferencias en la estructura y diversidad funcional entre las distintas cubiertas ensayadas para el conjunto de años de estudio ('03-'09) en el mes de abril.

	VI	D	VS
DIVERSIDAD MÁXIMA	2,02 B	1,96 C	2,13 A
DOMINANCIA SIMPSON	0,19 B	0,24 A	0,19 B
EQUIDAD PIELOU	0,88 A	0,81 B	0,85 A
RIQUEZA GRUPOS	7,56 B	7,15 C	8,46 A
DIVERSIDAD SHANNON	1,78 A	1,6 B	1,82 A
DIVERSIDAD SIMPSON	0,8 A	0,75 B	0,8 A

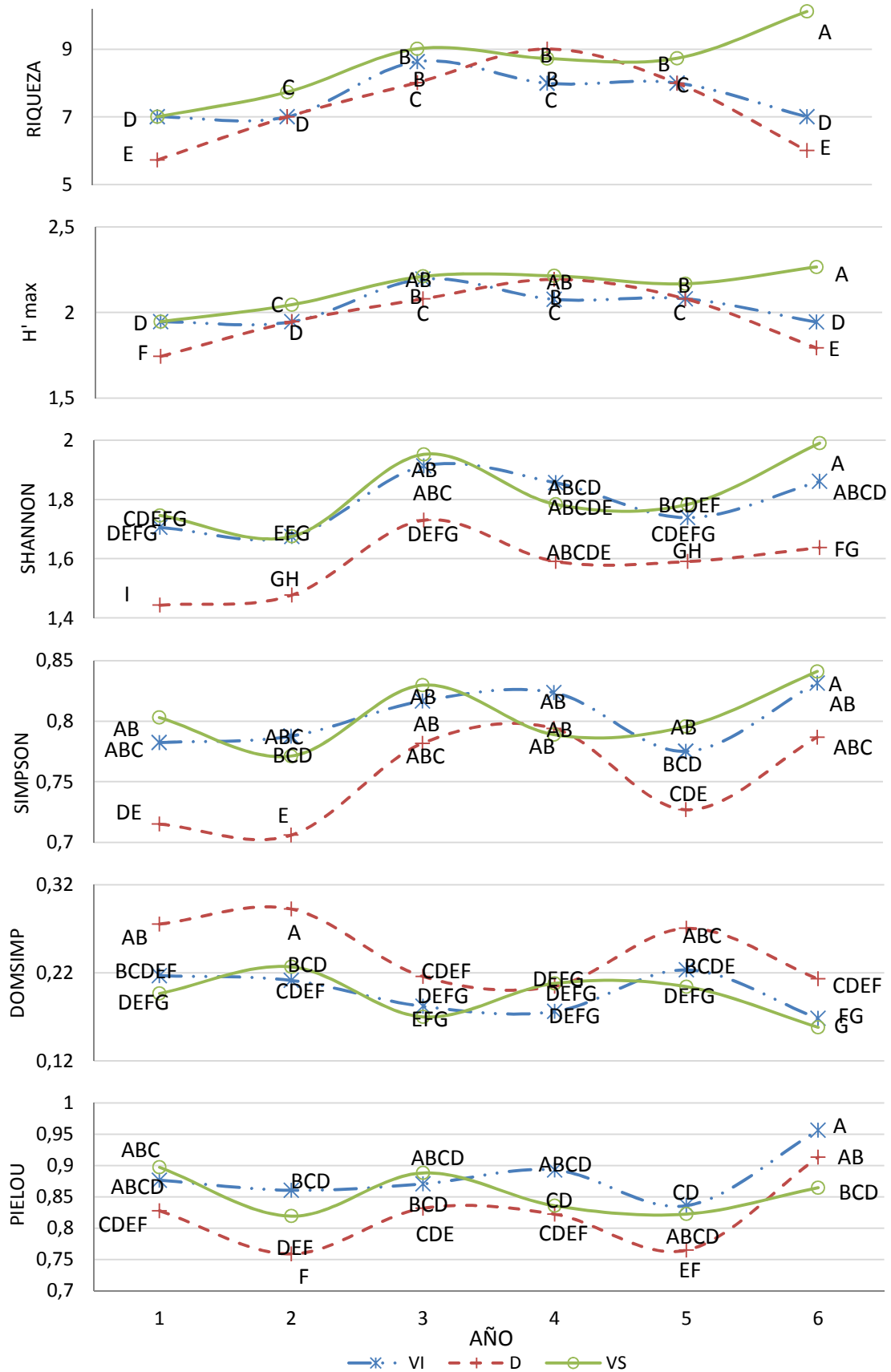
VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 1.25. Esquematización de las tendencias significativas diferenciales, al alza (+) o a la baja (-) para los indicadores de estructura y diversidad funcional (2003-2009).

TTO	RIQUEZA	DIVERSIDAD SHANNON	DIVERSIDAD MÁXIMA	DIVERSIDAD SIMPSON	DOMINANCIA SIMPSON	EQUIDAD PIELOU
VI	=	=	=	=	=	=
D	=	+	+	+	-	=
VS	+	+	+	=	=	=

TTO: tratamiento; VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. Test ANOVA, diferencias LSD ($\alpha=0,05$).

Figura 1.21. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel funcional (abril).



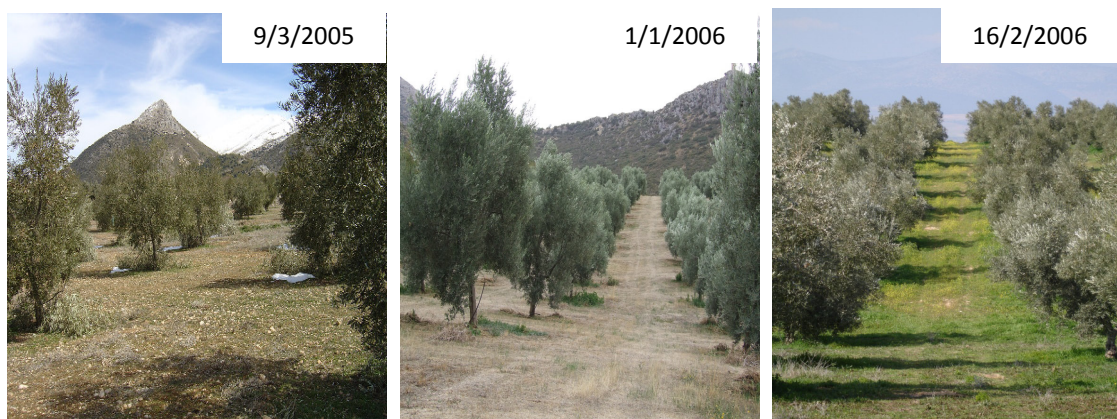
VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada; H' máx.: Diversidad potencial máxima
Test ANOVA (split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0.05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El manejo tradicional de la finca y la zona está fuertemente ligado a los pastizales xerofíticos mediterráneos de vivaces y anuales, hábitats de reconocido interés comunitario (Ríos & Salvador, 2009). A nivel florístico destaca la alta diversidad florística, que es reflejo del importante banco de semillas del suelo, registrándose 35 especies por cada 0,25m². Las cubiertas vegetales reflejan la degradación y pérdida de fertilidad de un antiguo majadal que degeneró en pastos anuales de *Helianthemetea guttati*, o en herbazales nitrófilos de *Brometalia* tras algunas fases de cultivo y posterior abandono (Ferrer et. al., 2001; Olea & San Miguel, 2006).

Tras evaluar los indicadores de composición y estructura del inicio al fin del estudio, se observan cambios de tendencia en la evolución de taxones, biotipos y grupos funcionales, así como cambios en su posicionamiento dentro de la comunidad vegetal. Aunque el número medio de especies registradas en abril se mantiene casi invariable durante los cuatro últimos años, esto no implica ausencia de cambios, al contrario, se produce una evidente reorganización de tipos respecto a la situación inicial. A su vez, estos cambios se producen de forma diferencial en los distintos tratamientos como causa y a la vez efecto de la distinta evolución de la flora. Gracias a la cantidad de información acumulada a distintos niveles, y su posterior análisis, se pone al descubierto un complejo entramado de relaciones entre las especies vegetales que forman la cubierta y con los factores bióticos y abióticos. Aunque todos los niveles de análisis han aportado información significativa y diferencial entre tratamientos, es el análisis de biotipos y grupos funcionales el que aporta más información sobre las cualidades emergentes de la comunidad, en relación al funcionamiento básico del olivar y su sostenibilidad en el tiempo. De este modo, el paso de una labor profunda, vertical e intensa como el gradeo a otra más superficial, horizontal y ligera (laboreo superficial y desbrozado), ha conllevado en todos los tratamientos, el aumento de la densidad de individuos, de la riqueza y diversidad de especies, géneros y biotipos, de la riqueza específica y genérica de leguminosas mediterráneas silvestres, así como la importancia de hierbas anuales rosuladas y rastreras. Estos cambios aumentan la probabilidad de aparición de algunos rasgos funcionales de especial interés, o de otros rasgos no deseados. Se observa como las formas bienales y perennizantes se ven más penalizadas por el laboreo superficial que por el gradeo y el desbrozado. Sin embargo, se reduce la importancia de papaveráceas y convolvuláceas, que se ven inhibidas por la labor poco profunda y por las cubiertas más densas. Por otro lado, la vegetación arvense se considera estacionaria y sin posibilidad de evolucionar hacia etapas sucesionales de mayor complejidad, lo que implica un contexto de sucesión secundaria, en que los cambios se suceden con mucha más rapidez que en los estadios de sucesión primaria. Durante el estudio se han producido muchos cambios, pero la mayoría no son direccionales o significativos, lo que subraya el comportamiento estacionario, sin embargo, este comportamiento guarda relación con la intensidad y frecuencia de la perturbación a la que la cubierta se encuentra sometida. De este modo, a pesar de tratarse de una comunidad vegetal estacionaria, las cubiertas han mostrado su capacidad para aumentar su complejidad florística y funcional, su calidad y su estabilidad en distinto grado en función del manejo ensayado. Es decir, durante el estudio sucede una reorganización de la flora y cambios suficientes para afirmar que todas las cubiertas han madurado en distinto grado en función del manejo.

El estudio pone de relieve como las condiciones climáticas suponen el principal limitante para la expresión de la flora (Fotos 1.55-1.57), y cómo a su vez ésta, también está íntimamente relacionada con las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo.



Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.55: Cubiertas cuando la precipitación desde septiembre no llega a los 110 mm. Foto 1.56: Cubiertas cuando la lluvia acumulada en el último año está en torno a los 260 mm. Foto 1.57: Cubiertas cuando se han acumulado 140 mm desde el 1 de enero.

En el tiempo de estudio, todos los tratamientos comparten elementos propios de una comunidad vegetal terofítica de la clase *Stellarietea mediae* (*Ruderali secalietae*). Se trata de flora arvense y ruderal propia de frutales de secano, así como de herbazales nitrófilos o subnitrófilos con elementos invasores y cosmopolitas que muestran indiferencia edáfica. Todo ello coincide con la presencia de comunidades estacionales terofíticas de periodicidad vernal-primaveral, lo que asegura su supervivencia en regiones semiáridas. Sin embargo, aparecen especies características de otras asociaciones vegetales, ya que la composición florística en comunidades herbáceas de olivar es muy heterogénea (Sanz, 1986). Aunque esta formación vegetal básica responde a las limitaciones agrogeoclimáticas locales, el ensayo permite detectar cambios que suceden en la flora como respuesta al manejo diferencial. Por ejemplo, la tendencia general al alza de la frecuencia de *Bromus diandrus*, *Bromus madritensis* y *Avena sterilis* durante el ensayo, así como su densidad en el tratamiento D, junto al incremento de la presencia de *Bromus tectorum* o *B. rubens*, es característica de un herbazal subnitrófilo o de etapas degradadas de pastizales xerofíticos con árboles dispersos perteneciente al orden *Brometalia* y está representada, entre otras, por especies registradas en el estudio como *Lolium rigidum*, *Avena sterilis*, *Medicago orbicularis*, *Melilotus sulcatus*, *Trigonella monspeliaca*, *Trifolium hirtum*, *Trifolium stellatum*, *Calendula arvensis*, *Centaurea melitensis*, *Urospermum picroides*, *Sonchus asper*, *Silene spp.*, *Bellardia trixago*, *Scandix pecten-veneris*, *Astragalus hamosus*, *Bromus rubens*, *Echium plantagineum*, *Erodium cicutarium*, *Neslia paniculata*. *Alyssum simplex* y *Chamaemelum mixtum* aparecen en los suelos arenosos, y *Medicago minima* o *Scorpiurus muricatus* sobre calizas.

Al igual que las especies más importantes aportan una gran cantidad de información a nivel florístico y funcional, las especies poco frecuentes, son buenas bioindicadoras y suponen una garantía de adaptación de la comunidad vegetal ante las perturbaciones (Grime, 1998). La monitorización de estas especies y su análisis se ve dificultado por la inconsistencia de los datos a través del tiempo. Sin embargo, a través de un simple registro de presencia, estas

especies, confirman la evolución diferencial en el tiempo entre tratamientos. La reducción durante los seis años de ensayo, de la presencia general de especies de la Clase *Helianthemetea guttati*, junto a otras mediterráneas como *Filago pyramidata* o *Linaria micrantha*, indican que estos suelos se están nitrificando, ya que se produce el retroceso de los terófitos efímeros no nitrófilos de pastizales secos y suelos incipientes, mientras que aumentan otras como *Silene vulgaris* en VI y sobre todo en VS, indicando que el pasto se está embraveciendo, ya que es propia de comunidades nitrófilas en suelos un tanto compactados y con un manejo ligero. Sin embargo, aunque el retroceso de ciertas especies como *Minuartia hybrida*, *Arenaria serpyllifolia* o *Andryala integrifolia*, propias de herbazales subnitrófilos de barbechos y de pastizales ralos con cobertura de árboles dispersos, es común en todas las cubiertas, lo es en menor medida en la cubierta de veza desbrozada. En cualquier caso, ello no implica que el suelo en VS carezca de fenómenos de nitrificación. En VS aparecen muchas especies de forma exclusiva como *Leontodon longirostris*, *Silene spp.*, *Crepis vesicaria* o *Taraxacum spp.*, que son propias de pastos anuales secos de escasa cobertura, pero también de prados de siega con perennizantes de elevada cobertura (Clase *Molinio-Arrhenatheretea*).

Destaca durante el estudio la modificación de los ritmos fenológicos de las cubiertas en función del manejo. De este modo, en las cubiertas labradas se da un pico de floración al inicio de la primavera, más aparente en las espontáneas, mientras que el desbrozado configura una cubierta con una floración aparente más tardía que la de la veza, concretamente entre el primer y segundo control de la cubierta.

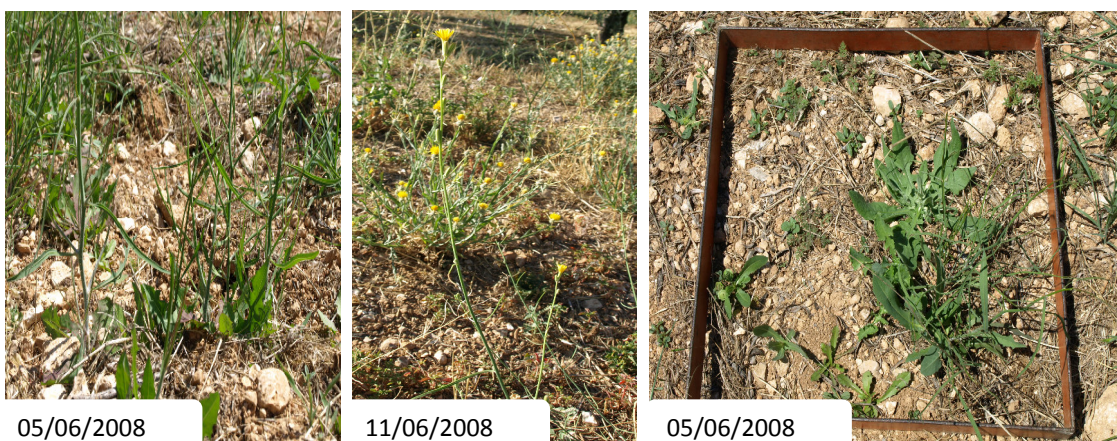


Foto 1.58 (izquierda): cubiertas el 2/4/2008, las parcelas verdes se corresponden con el tratamiento VS, y la floración de crucíferas se corresponde con las cubiertas labradas. Foto 1.59 (derecha): cubiertas de ensayo el día 28/05/2009. La cubierta desbrozada se ve en verde y con *Crepis vesicaria* en flor, mientras que las cubiertas labradas se mantienen desnudas.

La aparición de la cubierta estival en las parcelas labradas tras el primer control marca las principales diferencias que suceden entre tratamientos en el mes de junio a nivel florístico (Fotos 1.60-1.62). Cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables, de mayo a julio la cubierta vuelve a emerger y configurarse en gran medida en base a las familias que ya eran importantes en abril, a lo que se le añaden aquellas de periodicidad estival, ausentes en abril (Fotos 1.63-1.65), como Amarantáceas, Chenopodiáceas y Solanáceas, a la vez que aumenta la importancia de Borragináceas y Euforbiáceas respecto a abril. Esta circunstancia repercute en una mayor diversidad a nivel familiar en los tratamientos labrados así como un índice de Equidad significativamente mayor frente a VS antes del segundo control. Estos indicadores incrementan su valor ya que de entre el menor número de individuos que conforman la cubierta labrada respecto a abril, existe una mayor probabilidad de encontrar taxones de la cubierta estival.



Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.60: Cubierta labrada delante y VS con *Crepis* en flor el 28/05/2009 con una escasa precipitación entre controles. Foto 1.61: Cubiertas labradas en primer plano y cubierta desbrozada detrás el día 5/06/2008 con lluvia entre controles. Foto 1.62: Cubiertas labradas, seguidas de la desbrozada al fondo con *Crepis* en flor el 12/06/2008 con lluvia entre controles.



05/06/2008

11/06/2008

05/06/2008

Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.63: *Chondrilla juncea* en crecimiento. Foto 1.64: *Chondrilla juncea* en flor junto a *Centaurea solstitialis* en las cubiertas labradas. Foto 1.65: Cubierta estival tras el laboreo (*L. serriola*, *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium album*, *C. solstitialis*, *E. cicutarium*, etc.).

En la vegetación que se registra al inicio del verano, en las cubiertas labradas, aparecen arvenses estivales nitrófilas como *Amaranthus blitoides*, *Chenopodium album*, *Heliotropium europaeum*, *Sorghum halepense*. Resulta característico, *Convolvulus arvensis*, que se registra en una primavera seca más abundantemente en las cubiertas labradas que en las desbrozadas. Por otro lado, algunas especies registradas en el tratamiento D en junio son ruderales y viarias subnitrófilas de lugares removidos como *Lactuca serriola*, *Carduus spp.* o *Chondrilla juncea* (Fotos 1.63-1.64). En cuanto al tratamiento VS, antes del segundo control, la cubierta presenta especies ruderales con floración primaveral-estival, que han escapado a la siega o han rebrotado, muchas de ellas son Asteráceas provistas de roseta basal y raíz pivotante (p.ej.: *Leontodon longirostris*, *Crepis foetida*, *Crepis vesicaria*, *Urospermum picroides*, *C. juncea*). En el tratamiento VS, en junio, los indicadores de diversidad, los de riqueza y equidad, son significativamente mayores a nivel específico y de biotipos. Cuanto menos limitado ve su crecimiento la cubierta, y más tiempo pasa sobre el suelo, más compleja y rica se torna, mientras que el laboreo de la cubierta invernal-primaveral conlleva la aparición de la cubierta de periodicidad estival.

El manejo diferencial afecta directamente a la estructura espacial y temporal de la vegetación, y tiene implicaciones a nivel funcional. La siembra de veza acelera y promueve una cubierta más densa y productiva y mejor cobertura del suelo, a la vez que conlleva una modificación del contenido de nitrógeno en el suelo y tiene un claro efecto sobre el balance hídrico. A pesar de que la veza se siembra en los tratamientos VI y VS, es en el primero donde resulta significativamente más abundante gracias al enterrado de la semilla. En cualquier caso, los valores obtenidos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad florística y funcional, en los tratamientos sembrados, desvelan que la veza promueve una mayor diversidad de grupos funcionales. Aunque la siembra de veza motiva el aumento de la riqueza y diversidad de biotipos, sin duda el desbrozado es el que permite una mayor equidad en su distribución así como una mayor diversidad.



Fotos detalle de los tratamientos (de izquierda a derecha). Foto 1.66: Tratamiento VI en la primera quincena de marzo. Foto 1.67 y Foto 1.68: tratamientos VS y D ambos en la segunda quincena de abril.

Durante el estudio, la principal diferencia entre cubiertas se advierte en su altura, ya que las labradas son más altas y predomina el crecimiento vertical, mientras que las desbrozadas son bastante más bajas y destaca el crecimiento horizontal (Fotos 1.66-1.68). En la cubierta espontánea dominan las formas anuales erectas de talla media y alta, y en el estrato bajo abundan los terófitos rastreros y rosulados. Sin embargo, el tratamiento VI, resulta en una vegetación dominada por formas erectas de talla baja a alta, rastreras y trepadoras, aunque es esta última forma de crecimiento la que condiciona la estructura de esta cubierta. La alta densidad de veza cierra el dosel a media altura, promoviendo un estrato bajo con una buena cobertura horizontal del suelo. Por último, la cubierta de veza desbrozada, aunque dominada por formas erectas de baja a media talla, rosuladas y rastreras, son las rosetas las que promueven un excelente recubrimiento horizontal del suelo.

El biotipo más abundante es el de los terófitos erectos, sin embargo, a partir del cuarto año, su importancia tiende al alza en las cubiertas labradas y a la baja en las desbrozadas, siendo el último año, significativamente más importantes en D, seguido por VI, y finalmente VS. Este biotipo está representado básicamente por gramíneas, crucíferas y asteráceas. La menor cobertura horizontal del suelo en el tratamiento D, permite incrementar el número de individuos erectos por unidad de superficie que colonizan los claros. Además, esta estructura vertical, permite que la radiación solar atraviese todo el dosel vegetal. En el caso del tratamiento VI, la tendencia es a diferenciarse con una menor presencia de formas erectas,

seguramente inhibidas por efecto del sombreado y un mejor recubrimiento horizontal del suelo. En consonancia con la evolución de la veza, el biotipo que se desmarca por su importancia creciente en VI durante el ensayo es el de los Terófitos trepadores, que a su vez motiva la proliferación de las plantas con un biotipo Terófito rastrero como *Stellaria media*, y Terófito/Hemicriptófito rastrero como *Geranium molle*, representantes de un estrato bajo de crecimiento horizontal. Aunque las formas rastreras también proliferan en VS, el aumento de su importancia durante el estudio es mayor en el tratamiento VI. En cuanto a los individuos que pueden completar su ciclo vital en más de un año, éstos tienen preferencia, por las cubiertas desbrozadas. El tipo de crecimiento característico del cambio diferencial de la flora en VS, es el de las plantas rosuladas, concretamente los Terófitos/Hemicriptófitos rosulados y los Hemicriptófitos/Geófitos rosulados. Su proliferación responde a su capacidad de evitación, regeneración, su capacidad de emerger y situarse por encima de los residuos vegetales, y pasar la sequía estival gracias a órganos de almacenamiento subterráneo. Los hemicriptófitos son los biotipos que soportan mejor el efecto siega, mientras que geófitos y terófitos no sobreviven (Fanlo & Chocarro, 1989).

Las cubiertas sembradas, durante el ensayo, incrementan significativamente la riqueza y diversidad de familias, géneros, especies y biotipos. Además, en el tratamiento VS también aumenta la diversidad potencial máxima a todos los niveles, incluido a nivel de funcional. Por el contrario, el tratamiento D únicamente incrementa su riqueza y diversidad a nivel genérico, específico y de biotipos, además de presentar valores significativamente menores y con tendencia a la baja para la equidad a todos los niveles excepto a nivel funcional. En este tratamiento, a través de los años, una abundancia creciente de ciertas familias, especies, géneros y biotipos se distribuyen de forma menos equitativa fomentando las relaciones de dominancia, como ocurre a nivel de biotipos, donde los espacios son colonizados por formas erectas con gran capacidad competitiva. A nivel familiar, en el tratamiento D, están presentes un mayor número de familias respecto a VI y VS, pero unas pocas tienen un mayor peso relativo sobre el resto. A pesar de presentar una diversidad funcional, de biotipos, genérica y específica significativamente menor, las cubiertas espontáneas tienden a enriquecerse, alcanzando el último año de estudio valores similares para la riqueza de géneros, especies y biotipos, y superiores a VI y VS para la densidad de individuos y riqueza familiar. En las cubiertas sembradas, el aumento de la riqueza y diversidad familiar, así como la reducción de las relaciones de dominancia a este nivel, se ven motivados tanto por la siembra de la veza en VI y VS, como por la interacción con el desbrozado en VS. La veza promueve los mayores valores de riqueza y diversidad de biotipos, sobre todo en VS, donde además se reduce del índice de dominancia. El aumento de la riqueza y diversidad familiar promueve una mayor equidad de la comunidad vegetal, reduciéndose la dominancia como ocurre en las cubiertas sembradas. Por otro lado, las cubiertas labradas (VI y D) se asemejan por la reducción significativa del índice de Equidad a nivel específico del inicio al fin del ensayo.

La continuidad que supone para la vegetación poder expresarse hasta inicio del verano tras evitar o regenerarse del desbrozado, implica que el espacio sea compartido, tras el primer control, por plantas de distinta periodicidad. Lo mismo sucede en otoño debido a no mover el suelo para la siembra, cosa que ocurre tanto en el tratamiento VS como en el tratamiento D. En las cubiertas desbrozadas y en las espontáneas, se incrementa la importancia de ciertos grupos funcionales que no lo hacen en VI, ya que aumenta la variabilidad de caracteres

funcionales presentes debido al solapamiento que se produce entre grupos o especies con distinto estado fenológico y momento de floración en la misma comunidad vegetal.

A nivel de grupos funcionales, el análisis define tres grupos estadísticamente diferenciados en cuanto a su riqueza funcional y su diversidad potencial máxima ($VS > VI > D$). En la cubierta desbrozada aumenta la riqueza funcional debido a la aparición de nuevos grupos funcionales durante los años de estudio, como son Fijadoras rastreras, Flor tardía, Margaritas y Flor temprana, a la vez que mantiene la mayoría de los grupos registrados al inicio. La cubierta desbrozada alberga en algún momento del estudio a cada uno de los grupos funcionales identificados excepto el grupo Competitivas. Por el contrario, durante el ensayo, las cubiertas labradas únicamente incorporan el grupo Competitivas y Flor temprana en el tratamiento VI, y el grupo Escionitrófilas en el tratamiento D. Asimismo, el tratamiento VI nunca alberga al grupo Flor tardía, y el tratamiento D al grupo Margaritas. En las cubiertas labradas la evolución del indicador de riqueza de grupos funcionales aumenta al inicio para alcanzar los mayores valores el tercer y el cuarto año (similares a VS) y se reduce hasta niveles similares a los del inicio durante los dos últimos años de estudio. A nivel funcional las cubiertas se reorganizan respecto a la situación inicial, al igual que sucede a nivel taxonómico. En cuanto a la diversidad, es en la cubierta espontánea donde todos los indicadores aumentan del inicio al fin aunque manteniendo siempre valores significativamente menores a los de las cubiertas sembradas. Sucede que los grupos funcionales detectados al inicio y al final del ensayo en el tratamiento D son prácticamente los mismos, sin embargo, todos ellos se enriquecen con el paso de los años con nuevos representantes, lo que aumenta la importancia de todos ellos de forma proporcional, reduciéndose el indicador de dominancia y aumentando la diversidad. A pesar de que el tratamiento VI posee una mayor riqueza y diversidad funcional que el tratamiento D, indicando una mayor complejidad, mantiene todos los indicadores de diversidad, riqueza, equidad y dominancia, sin variación desde el inicio al fin del ensayo. Este comportamiento está motivado por la mayor estacionalidad de la cubierta. Es decir, los ritmos que impone sobre el ciclo de la flora, el movimiento del suelo para la siembra de veza a alta densidad en otoño y la incorporación como un abono verde en el mes de abril y junio, supone un manejo más intensivo de la vegetación y del suelo, y limita de forma evidente la expresión de la misma. Este hecho no contradice al hecho que se haya producido una reorganización de grupos, y que la cubierta alcance un mayor grado de complejidad a nivel taxonómico, y mantenga una alta riqueza y diversidad de grupos funcionales, que debe estar relacionada con un mayor potencial para incrementar su diversidad funcional en el momento en que la intensidad y frecuencia de la perturbación se redujeran. En cualquier caso, el tratamiento VI mantiene una diversidad de grupos funcionales inferior a la de VS.

La Tabla 1.26 recoge los tipos concretos que han mostrado una evolución diferencial significativa entre tratamientos durante los años de estudio antes del primer control de la cubierta. Los tres primeros grupos definen a todos los niveles tres categorías diferenciadas estadísticamente que se corresponden con los tres tratamientos ensayados, aumentando su importancia en un tratamiento concreto frente a los demás, lo que permite deducir una gran cantidad de información a nivel funcional. Es interesante observar como el grupo Veza sembrada a nivel funcional se asemeja a los grupos Competitivas y Perennizantes (Tabla 1.23). La particularidad es que aparece una especie protagonista y distinta en cada uno de estos grupos, pero tienen en común, una alta capacidad competitiva, germinación temprana, eficaz

cobertura horizontal del suelo a final de otoño, alta biomasa, abundancia y frecuencia, hojas grandes-medianas, altura media-alta, con polen y néctar, semillas de tamaño medio y raíces profundas. Por todas estas razones, la dinámica de estos grupos, familias, especies y biotipos debieran ser causa y a la vez efecto de los principales cambios que suceden sobre todo en relación al uso de los recursos y la capacidad de dominancia (Anexo 1.G).

Tabla 1.26. Relaciones entre tipos concretos para cada nivel de análisis en los que aparecen diferencias significativas entre tratamientos y tendencias diferenciales al alza de 2004 a 2009.

TTO.	GRUPO FUNCIONAL	FAMILIA/S	ESPECIE/S	BIOTIPO
VI	VEZA SEMBRADA	Leguminosa	<i>Vicia sativa</i>	T.TR
D	COMPETITIVAS	Crucífera	<i>Diploaxis virgata</i>	T.ER
VS	PERENNIZANTE	Asteráceas	<i>Crepis vesicaria</i>	T/H.RO
D (VI)	GRAMÍNEAS	Gramíneas	<i>Hordeum murinum</i>	T.ER
VS	MARGARITAS	Asteráceas	<i>Anthemis arvensis</i>	T.ER
VS (D)	FIJADORAS RASTRERAS	Leguminosas	<i>Medicago polymorpha</i> , <i>Trifolium scabrum</i>	T.RA
VS (D)	FLOR TARDÍA	Asteráceas	<i>Sonchus oleraceus</i>	T.ER
VI (VS)	ESCIÓFILAS EVITADORAS	Cariofiláceas+Escrofulariáceas	<i>Stellaria media</i> , <i>Verónica sp</i>	T.RA
VI	FLOR TEMPRANA	Asteráceas (+Crucíferas+Lamiáceas)	<i>Calendula arvensis</i>	T.ER
VI	RUDERAL SECO	Leguminosas (+Geraniáceas)	<i>Medicago minima</i>	T.RA
D	ESCIONITRÓFILAS	Cariofiláceas (+Geraniáceas)	<i>Stellaria media</i>	T.RA
D	FLOR INVIERNO	Crucíferas	<i>Alyssum simplex</i>	T.ER
VS	PEQUEÑAS PRATENSES	Cariofiláceas	<i>Holosteum umbellatum</i>	T.ER

TTO: tratamiento; VI: Veza labrada; D: Cubierta natural labrada; VS: Veza desbrozada. T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; ER./RA./RO./TR.: Erecto/Rastrero/Rosulado/Trepador.

El grupo funcional Veza sembrada, se registra en los tratamientos VI y VS, aunque resulta significativamente más importante en VI, mientras que en VS su importancia se reduce. Este grupo tiene la ventaja de ser introducido de forma artificial, modificando las condiciones hídricas y nutritivas del suelo, así como de los ritmos fenológicos y de la composición y estructura florística y funcional de las cubiertas sembradas. Este comportamiento es más evidente en VI debido a la alta densidad de veza y su incorporación al suelo como abono verde en abril. Este manejo diluye la presencia y el efecto de aquellos taxones o grupos más competitivos u oportunistas, ya que la veza en VI realiza esta función de dominancia durante la segunda mitad del ensayo, cuando su producción de materia seca supera a la del resto de grupos. Sin embargo, aunque la veza contribuye a reducir ligeramente los índices de diversidad específica y genérica frente a VS, no tiene una densidad tal, que inhiba de forma evidente el establecimiento de una gran variedad de tipos. En realidad, su presencia en relación a otros grupos funcionales y biotipos se establece en base tanto a relaciones de competencia y alelopatía como de facilitación y complementariedad de nichos. En el caso del tratamiento VS, la veza no se establece de forma homogénea, los individuos son más pequeños y a menudo crecen formando grupos, así que las relaciones que se establecen con el resto de tipos no son tan evidentes.



Foto 1.69 (izquierda):
Veza creciendo en grupos
en el mes de diciembre
en la cubierta desbrozada
sembrada sin enterrado.

Foto 1.70 (derecha):
Cubierta sembrada de
veza y labrada en el mes
de noviembre.

En el tratamiento VI, la veza conlleva la aparición de tres estratos vegetales diferenciados, uno a media altura, representado por la veza que se cierra horizontalmente apoyada en hierbas más altas y erectas como gramíneas y crucíferas. Además, promueve la presencia de terófitos erectos que contribuyen a hacer más denso el estrato medio, lo que a su vez, sombrea el suelo, proliferando un estrato bajo de porte rastrero y tolerante al sombreado. Sin embargo, en el tratamiento VS, la mayor parte de los individuos tienen las hojas muy cercanas al suelo o aplicadas al mismo y predomina la talla baja en abril. El estrato medio no es homogéneo, en parte por la distribución heterogénea de la veza y su menor altura; el estrato más alto es escaso antes del primer control (Fotos 1.71-1.72) , y está representado por gramíneas y crucíferas básicamente, mientras que, entre el primer y el segundo control este estrato gana en altura y se torna más aparente gracias a la floración de las asteráceas tardías o al encañado y espigado de la avena. Antes del segundo control, el estrato bajo de la cubierta desbrozada pierde importancia debido a la cantidad de residuos vegetales que cubren el suelo, predominando el crecimiento erecto o escaposo (Fotos 1.73-1.75).

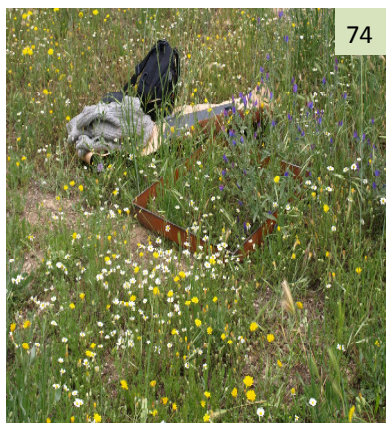


Fotos 1.71 y 1.72: Detalle de la
cubierta de veza desbrozada a
mitad de abril. Fotos 1.73 a 1.75:

Cubiertas desbrozadas en la
primera semana de junio. Foto
1.73: *Crepis vesicaria* en flor.

Foto 1.74: *Crepis vesicaria* y
Anthemis arvensis en flor. Foto

1.75: *Centaurea melitensis* en
pre-floración.



En el tratamiento VS, a pesar de la menor germinación de la veza y su distribución heterogénea, se produce un aporte externo de nitrógeno en forma de semillas de veza, además de la fijación simbiótica de la planta germinada. Este comportamiento más errático en la germinación de la veza sembrada procura un mosaico de tipos y rasgos distintos en función de si se encuentran cerca o alejados de ella, promoviendo una mayor producción de biomasa en aquellas herbáceas cercanas, y por tanto propiciando la heterogeneidad del suelo y la flora, al contar con zonas donde la acumulación de materia orgánica y humedad es mayor. De forma indirecta, el aumento de la biomasa producida por la cubierta (estimulada por la veza) también supone un mayor aporte de nutrientes al suelo. Cuando la veza sombrea el suelo, o promueve la proliferación de otros tipos que sombrean el suelo, éste se mantiene más fresco, reduciendo la evaporación directa de agua. Es difícil discernir entre los efectos debidos a la siembra de veza y los debidos al tipo de manejo, ya que se produce una interacción entre ambos factores.

Cuando la cubierta se cierra horizontalmente sombreando el suelo a la vez que éste se enriquece en nitrógeno (VI y VS) aparece el grupo Esciófilas evitadoras. Este grupo aumenta su importancia en los tratamientos VI y VS durante el estudio, sobre todo en VI, donde llega a producir una buena cantidad de materia seca en respuesta al cambio de ambiente producido por la presencia de la veza y un estrato medio más denso. Esta situación facilita que este grupo se enriquezca con nuevas especies indicadoras de una mayor humedad del suelo, principalmente *Stellaria media* junto a *Verónica polita* y *Verónica hederifolia* que toman importancia al final del estudio en las cubiertas sembradas. Por el contrario, el grupo de las Escionitrófilas tiende a aumentar en la cubierta espontánea y a reducirse en las sembradas. Durante la segunda mitad del estudio, este grupo se torna característico del tratamiento D, y se comporta a nivel funcional de forma similar a las Esciófilas evitadoras (Tabla 1.23). Está representado también por *Stellaria media*, sin embargo, en el tratamiento D se une a *Erodium cicutarium*, y en conjunto indican que la cubierta es más abierta y el estrato bajo está menos sombreado. El mantenimiento del grupo Esciófilas evitadoras en las cubiertas sembradas durante el ensayo guarda relación con el mantenimiento de un suelo más fresco hasta el primer control de la cubierta, mientras que su sustitución por el grupo de las Escionitrófilas denota una mayor sequedad del suelo. Estos dos grupos alternan su aparición en las distintas cubiertas debido a la gran variabilidad ambiental interanual, a nivel funcional, según la Tabla comparten muchos rasgos funcionales clave incluidos en el modelo.

Las relaciones de facilitación que promueve la veza en las cubiertas desbrozadas no están tan relacionadas con la modificación del ambiente debido a su sombreado (como en VI), sino al enriquecimiento del suelo en nitrógeno, y al consiguiente aumento de la biomasa de la cubierta y de la materia orgánica en superficie. El desbrozado de la cubierta supone una perturbación menos intensa que el laboreo, y deja al descubierto la principal cualidad emergente de la esta comunidad vegetal, que es su potencial para convertirse en un pastizal o pradera. En este tratamiento se pone de manifiesto el proceso sucesional que lleva a la vegetación a tender hacia rasgos funcionales relacionados con el herbivorismo y con ecosistemas menos perturbados por el hombre, como la capacidad de regeneración tras la perturbación, la calidad forrajera, y los biotipos hemicriptófitos y perennizantes. Este comportamiento indica un enriquecimiento del suelo en humedad y nitrógeno. En relación al nitrógeno, es destacable el hecho que en el tratamiento VS, la materia orgánica se acumula en superficie un año tras otro promoviendo la formación del horizonte A. En este contexto

aparece como grupo “dominante” durante la segunda mitad del ensayo, el grupo Perennizantes, representado por Terófitos/Hemicriptófitos rosulados. Este grupo está representado principalmente por *Crepis vesicaria* y *Centaurea solstitialis*, aunque es la primera la que indica la tendencia al cambio, incrementando su importancia significativamente en VS, mientras que se reduce en las cubiertas labradas, siendo su importancia significativamente mayor en VS, seguido de D, y finalmente VI. El desbrozado y la acumulación de restos vegetales en superficie favorecen la proliferación de hierbas rosuladas y hemicriptófitos propios de prados de siega ricos en nutrientes y con cierta humedad. Se trata de especies con una floración tardía (mayo) y una larga presencia sobre el suelo desde otoño hasta entrado el verano, lo que implica una alta captura de carbono antes y después del control de las cubiertas (Foto 1.79). Este grupo coloniza el espacio de forma muy efectiva tempranamente, y su biotipo le permite escapar y/o regenerarse tras el desbrozado, a la vez que puede emerger entre los restos vegetales. También presenta una alta producción de biomasa total y una raíz profunda, pivotante y engrosada, almacén de agua y nutrientes, y con anclaje lateral y superficial.



Fotos 1.77 a 1.79 (de izquierda a derecha). Foto 1.77: Representantes del grupo Perennizantes emergiendo sobre residuos de poda en el mes de enero. Foto 1.78: Detalle de la cubierta desbrozada con predominio de las formas rosuladas (enero). Foto 1.79: Detalle raíz de *Crepis vesicaria* en junio.

Si se compara a simple vista la cubierta de veza desbrozada con una cubierta espontánea contigua del mismo agricultor desbrozada desde el inicio de la plantación (Fotos 1.80-1.81), se observa como en esta última no aparecen formas rosuladas hemicriptófitas con tanta frecuencia como en VS, por lo que estas formas estarían relacionadas con la nitrificación del suelo que promueve la siembra de veza. También se advierte la relación del desbroce con la compactación superficial de suelo, apareciendo rosetas en VS y apareciendo muy abundantemente *Trifolium tomentosum* en la cubierta natural desbrozada contigua.



Fotos 1.80 y 1.81: Detalles de una cubierta espontánea contigua al ensayo en la misma finca de olivar ecológico y desbrozada durante 10 años.

En las cubiertas espontáneas, el grupo Margaritas nunca se registra, pero sí refleja la evolución diferencial de las cubiertas sembradas de veza en función del manejo. Este grupo se ve

favorecido por el hecho de no mover el suelo y permitir una floración escalonada hasta el final de la primavera, por lo que no se registra en VI durante la segunda mitad del ensayo, mientras que tiende a aumentar su importancia del inicio al fin en VS. Está representado básicamente por *Anthemis arvensis* y *Calendula arvensis*, siendo la primera la que protagoniza la tendencia diferencial de las cubiertas desbrozadas. El grupo Margaritas presenta una germinación temprana, y crece en grupos cerca del suelo, cubriéndolo horizontalmente, además de ser fuente de polen y néctar durante el invierno y la primavera, con dos picos de floración, a cargo de *C. arvensis* antes del primer control, y *A. arvensis* tras el control. Así como el grupo Perennizantes parece proliferar en las zonas con más recursos, dentro de la heterogeneidad que caracteriza a la cubierta desbrozada, el grupo de las Margaritas se situaría en las zonas de esta misma cubierta donde no se acumula tanta materia orgánica (IGME, 1992), o bien en los lugares donde no se establecen las perennizantes en alta densidad y la competencia por los recursos es menor.

Otros grupos también ven facilitada su presencia en el tratamiento VS, porque les permite florecer a final de primavera. Este es el caso del grupo Flor tardía que resulta característico del tratamiento VS, donde además tiende a aumentar su importancia durante el estudio, mientras que en D se reduce su densidad y en VI no se registra. La mayoría de sus representantes como *Erodium cicutarium*, *Calendula arvensis* o *Sonchus oleraceus*, tienen en común, la capacidad de germinar durante todo el año si las condiciones son óptimas. El desbrozado facilita que este grupo solape germinaciones y floraciones sucesivas durante el invierno, la primavera y el otoño. Por otro lado, en las cubiertas naturales aunque el no laboreo en otoño facilita su presencia e incrementa su abundancia en abril, durante el estudio su densidad se reduce por la limitación que supone el laboreo en abril. El aspecto que tienen en común las cubiertas desbrozadas y naturales frente a VI en relación al grupo Flor tardía además de los ya comentados, es que ambas permiten que la luz atraviese todo el dosel vegetal, en VS por su baja talla y en D por ser más abierta.

Algo parecido sucede con el grupo Fijadoras rastreras, que protagoniza una tendencia significativa al alza en VS, mientras que en VI tiende a la baja, debido a su floración y fructificación de marzo a julio, y su baja tolerancia a la sombra. En la cubierta desbrozada este grupo tiende a enriquecerse durante la segunda mitad del estudio con representantes propios de los pastos terofíticos secos de baja talla, como *Medicago polymorpha* o *Trifolium scabrum*, ambas protagonistas de un cambio diferencial y significativo frente a las cubiertas labradas. Estas especies presentan floración y fructificación escalonada hasta la sequía estival, además de promover una buena cobertura del suelo por su crecimiento horizontal, y suponer un modesto consumo de recursos debido a su pequeño porte, que incrementa cuando se forma el fruto. El grupo Fijadoras rastreras representado exclusivamente por leguminosas silvestres, es importante en las regiones semiáridas del mediterráneo por su carácter mejorante del suelo y su resistencia al calor y la sequedad, por lo que se utilizan como abonos verdes y por su interés forrajero. Este grupo tiene una dinámica muy variable en función de las condiciones hídricas y térmicas. La especie *Medicago polymorpha* muestra en la cubierta desbrozada su capacidad de resiembra por lo que es utilizada para producir pasto a bajo coste. El hecho de que este grupo también incremente su importancia en las cubiertas naturales se debe a un manejo menos intensivo del suelo y la flora y a una mejor penetración de la luz hasta el estrato bajo. La especie *Medicago minima* aparece en todos los tratamientos, y en las cubiertas desbrozadas

siempre se asocia a *Medicago polymorpha* junto a *Trifolium scabrum* que prefiere las cubiertas sembradas de veza. Asimismo, *Trigonella monspeliaca* solo forma parte de este grupo en las cubiertas naturales. Una gran variedad de leguminosas silvestres se registran durante el estudio en todos los tratamientos, incluso algunas de ellas de forma abundante para alguno de los años, como por ejemplo, *Medicago orbicularis*, *Trifolium tomentosum* o *Astragalus stella*. De forma muy poco frecuente aparecen *Trifolium hirtum* o *Medicago littoralis* entre otras.



Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.82: Floración de *Centaurea solstitialis* (Perennizantes) a principios de agosto como refugio de la fauna en una parcela contigua. Foto 1.83: Grupos en flor en mayo en VS: *Anthemis arvensis*, *Calendula arvensis* (Margaritas); *Medicago minima* y *polymorpha* (Fijadoras rastreras) y *Hordeum murinum* (Gramíneas). Foto 1.84: Floración de *Convolvulus arvensis* (Flor tardía).

Los grupos de floración tardía (Flor tardía, Perennizantes, Margaritas o Fijadoras rastreras) son interesantes desde el punto de vista de la sostenibilidad del sistema a largo plazo, por permanecer sobre el suelo durante un largo periodo y presentar recursos en épocas del año en que escasea la vegetación (Fotos 1.82-1.84). Esto contribuye a una mayor captura de carbono; sin embargo, las floraciones y fructificaciones abundantes de estos grupos, principalmente a final de primavera-inicio del verano, coinciden con un momento en el que las reservas de agua del suelo son limitantes para la producción de aceituna. Esta combinación se presenta de forma consistente en las parcelas desbrozadas seguidas de las espontáneas.

El grupo funcional Ruderal seco aparece al final del estudio en las cubiertas labradas, y está representado por *Medicago minima* junto a *Erodium cicutarium*. Ambas especies florecen y fructifican antes del laboreo de la cubierta, y forman parte del estrato vegetal más cercano al suelo. La leguminosa *Medicago minima*, el cuarto y sexto año, cuando se registra su menor densidad, deja de formar parte del grupo de las Fijadoras rastreras y pasa a formar parte del grupo Ruderal seco, propio de terrenos secos y calizos, con un rápido establecimiento en otoño y buen recubrimiento horizontal por su biotipo rastrero y rosulado.

La vegetación silvestre se sincroniza con la veza sembrada, sobre todo en VI donde tiende a completar su ciclo antes del control de la cubierta, con la veza en flor. Manejar la cubierta sembrada como un abono verde, implica que la veza guíe ciertos cambios, por ejemplo, la proliferación de terófitos arvenses y nitrófilos de floración temprana en primavera y propia de suelos más frescos y nitrificados como son *Stellaria media*, *Verónica spp.*, *Capsella bursa-pastoris* o *Hordeum murinum*. El hecho de que en todas las cubiertas se identifique el grupo Flor temprana, implica que las cubiertas presentan un óptimo invernal. Sin embargo, mientras que el establecimiento de la cubierta sembrada promueve la presencia del grupo Flor temprana (Foto 1.85), la cubierta espontánea promueve la reducción de su importancia.

Concretamente, este grupo aumenta su abundancia del inicio al fin significativamente en las cubiertas en que la veza germina abundantemente y se siembra y controla mediante laboreo. Esta tendencia diferencial en VI la protagoniza *Calendula arvensis*, que ya se encuentra en flor en el mes de febrero. Este grupo conlleva claros beneficios para el olivar por su pronta germinación que protege al suelo ante la erosión, además contribuye a la recarga del suelo en otoño-invierno, asegura refugio a la fauna y polen y néctar en invierno, y no supone, por su altura, productividad y fenología un consumo significativo de agua del suelo.



Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.85: *Calendula arvensis* y *Capsella bursa-pastoris* (Flor temprana) tras germinar junto a la veza sembrada en noviembre Cubierta sembrada de veza y labrada en febrero con *Calendula* en flor. Foto 1.86: *Calendula arvensis* junto a *Capsella bursa-pastoris* y *Lamium amplexicaule*. Foto 1.87: Flor temprana en flor, *Calendula arvensis*, *Senecio vulgaris* y *Lamium amplexicaule*.

El grupo Flor de invierno resulta significativamente más importante en las cubiertas desbrozadas que en las labradas del segundo al cuarto año, y deja de registrarse en VS los dos últimos, cuando incrementa su frecuencia y densidad en la cubierta natural. El último año no se registra este grupo en ningún tratamiento. Los años en que la especie *Alyssum simplex*, principal representante de este grupo, presenta una densidad más elevada ($>15 \text{ Ind/m}^2$) se une básicamente a *Lamium amplexicaule* en las cubiertas desbrozadas del segundo al cuarto año, sin embargo, el cuarto y quinto año esta tendencia cambia, y la importancia de este grupo se incrementa en el tratamiento D, donde la importancia de *Alyssum simplex* se incrementa durante el ensayo, denotando una cubierta más abierta y seca. Ambas especies forman parte también del grupo Flor temprana en algún momento, ya que su floración sucede a final de invierno, pero la diferencia con el grupo Flor de invierno es que éste es más efímero, con un ciclo más corto, encontrándose en madurez en abril, asimismo, produce tres veces menos materia seca/ m^2 que el grupo Flor temprana que tiene un carácter más arvense y nitrófilo.

El grupo de las Competitivas sólo se registra en las cubiertas labradas, y de forma significativamente más importante en las espontáneas (Fotos 1.88-1.90). El laboreo favorece a este grupo de crucíferas de talla alta como *Diplotaxis virgata* o *Capsella bursa-pastoris* con abundante floración en invierno-primavera. Durante su desarrollo vegetativo, forma una especie de roseta basal que cubre el suelo ya en otoño, y su ciclo rápido le permite semillar todos los años antes del primer control. Además, produce una notable cantidad de biomasa, y cuenta con unos residuos lignificados muy ricos en carbono. Estos rasgos lo hacen dominante en el tratamiento D, y permiten que en el tratamiento VI pueda proliferar a pesar de la alta densidad de veza, aumentando su importancia. Este grupo toma ventaja comparativa al desarrollarse más rápidamente que la veza. El tercer año de ensayo, la veza con una baja

densidad, entra a formar parte del grupo Competitivas, mostrando su similitud a nivel funcional por su sincronización al inicio del otoño y su habilidad competitiva. Este sería el grupo de especies que indicaría el momento de control de las cubiertas espontáneas. Sin embargo, aunque en un año con un otoño e invierno con sequía este grupo adelanta su floración y podría tener un consumo de agua significativo tempranamente (febrero), la mayoría de los años, con una precipitación media, este grupo florece en marzo-abril.



De izquierda a derecha. Foto 1.88: El suelo de la cubierta espontánea está cubierto por la roseta de *Capsella bursa-pastoris* y *Diplotaxis virgata* el día 23/12/2008. Foto 1.89: en flor el día 2/4/2008. Foto 1.90: Últimos individuos de *Capsella* y *Diplotaxis* en flor y fruto el 24/4/2008 en VI.

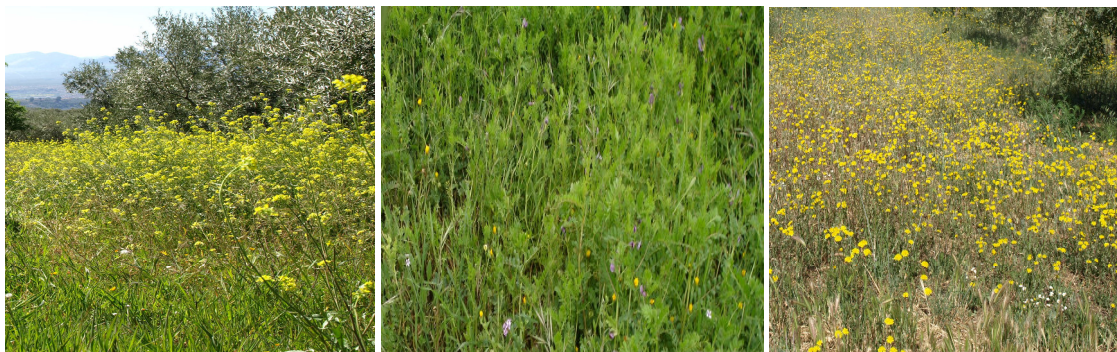
Los grupos de floración temprana (Flor de invierno, Flor temprana y Competitivas) son interesantes para el olivar por germinar pronto y cubrir el suelo ya en noviembre, así como presentar recursos para la fauna en invierno. Sin duda, son indicadores, al igual que los grupos de floración tardía de los distintos ritmos fenológicos impuestos sobre la flora por el manejo diferencial del suelo. Además, su aparición, altura, cobertura y abundancia es indicadora de la reserva de agua del suelo a la salida del invierno.

Otra diferencia entre cubiertas labradas y desbrozadas, es una significativa mayor densidad de individuos del grupo Gramíneas en las primeras. Este grupo resulta clave en todos los tratamientos, aunque su abundancia acaba reduciéndose significativamente en VS, ya que sin duda agradece el movimiento del suelo y las cubiertas verticales. Esta tendencia diferencial se observa durante la segunda mitad del ensayo, y se refleja en la evolución de *Hordeum murinum*, que gana en importancia en las cubiertas labradas, sobre todo en VI, indicando un suelo más rico en nutrientes y más fresco. En cuanto a *Bromus diandrus* y *Bromus madritensis*, aumentan su abundancia sobre todo en las cubiertas espontáneas, mientras que *Lolium rigidum* y *Avena sterilis* prefieren las cubiertas naturales y las desbrozadas por su fenología más tardía. Este grupo funcional tiene mucha importancia en todas las cubiertas naturales o seminaturales de la zona por su excelente adaptación al secano, por mejorar tanto la estructura vertical como horizontal de la cubierta, y las propiedades estructurales y bióticas del suelo. Su presencia implica una elevada captura de carbono y nitrógeno, por lo que su incorporación en el suelo como abono verde es muy deseable. Asimismo, sus residuos lignificados protegen al suelo durante más tiempo.

El grupo funcional Pequeñas pratenses es significativamente más importante en el tratamiento VS frente a VI y D, aunque durante la segunda mitad del ensayo tiende a reducir su importancia en todas las cubiertas. Está representado por pequeñas Cariofiláceas como

Arenaria serpyllifolia y *Minuartia hybrida*, pero principalmente por *Holosteum umbellatum*, que pasa de ser más importante en D al inicio del ensayo, a incrementar su abundancia en VS hasta el sexto año. El sexto año esta especie se agrupa a *Cerastium glomeratum*, y ambas forman el grupo Ruderal vernal, que sólo se registra en VS el primer y último año, cuando más llueve. Este nuevo grupo de Cariofiláceas de pastos anuales efímeros, se diferencia del anterior, en que tiene un ciclo un poco más largo, tolera la sombra e indica un suelo más rico en nutrientes y nitrificado con residuos orgánicos y cierta humedad. Tanto el grupo de las Pequeñas pratenses como Ruderal vernal, crecen en grupos a muy baja altura y contribuye a cerrar el estrato bajo de la cubierta. El grupo Ruderal vernal, al inicio del ensayo está representado por *Anthemis arvensis* y *Coronilla scorpioides*, con una importancia mayor en el tratamiento D frente a VI y VS, y con caracteres similares a *Holosteum* y *Cerastium* como son baja talla, floración tardía o crecimiento en grupos, pero con una producción de materia seca mayor. La desaparición de este grupo en las cubiertas labradas está relacionada con un incremento de la altura y densidad de éstas, y por el laboreo en el mes de abril.

Ciertos grupos y especies son indicadores del momento en el que debiera controlarse la cubierta para no mermar los recursos de agua disponibles para el olivo. La alta producción de materia seca de estos grupos “dominantes”, sugiere una demanda de recursos importante desde su floración, movilizándolos para su fructificación en una fecha que puede variar en función de las condiciones climáticas anuales. De este modo, en el tratamiento D, este momento de máxima movilización de recursos debería coincidir con la floración de *Diplotaxis virgata* (Foto 1.91), de marzo a abril, en VI en abril con la floración de *Vicia sativa* (Foto 1.92), y en el tratamiento VS en el mes de abril y mayo con la floración de *Crepis vesicaria* (Foto 1.93).



Fotos de izquierda a derecha. Foto 1.91: tratamiento D a principio de abril. Foto 1.92: tratamiento VI la segunda quincena de abril. Foto 1.93: tratamiento VS a principio de junio.

El hecho de sembrar una especie como cubierta vegetal no significa que su floración se convierta automáticamente en indicador del momento de mayor demanda de agua, tal como sucede en VS con la veza, donde el cuarto año sí supone una movilización de recursos importante debido a su buena implantación, sin embargo, los años en que no se establece de forma óptima, es el grupo de las perennizantes el que presenta una mayor movilización de recursos antes del primer control de la cubierta. El hecho de que las especies dominantes sean hemicriptófitos no ayuda a determinar cuál es el momento idóneo para la eliminación de la cubierta en base a su floración, que resulta tardía para realizar el primer control de la cubierta y no evita que estos biotipos acumulen una buena cantidad de recursos posibles antes de florecer, además de solaparse individuos germinados el mismo año y que no florecerán.

CONCLUSIONES

El valor de la metodología utilizada reside en la complementariedad de la información que aporta el análisis taxonómico junto al funcional. Mientras que a nivel funcional se realiza el seguimiento de las especies más importantes, el levantamiento florístico también registra la evolución de las especies menos frecuentes. Sin embargo, el análisis a nivel de biotipos y grupos funcionales aporta las evidencias más consistentes sobre el cambio de flora.

Las principales diferencias están relacionadas con la sucesión fenológica de la vegetación y con las formas vitales que promueven los distintos tratamientos. De este modo, en las cubiertas se suceden o solapan distintas comunidades vegetales de otoño a verano. En las cubiertas labradas, se suceden comunidades de terófitos de diciembre a abril, y tras el primer control dan paso a una cubierta dominada por gramíneas y especies de fenología estival. En cambio, la cubierta desbrozada presenta dos facitaciones fenológicas, una primaveral de baja talla dominada por terófitos de óptimo primaveral, y otra entre controles de mayor talla dominada por terófitos/hemicriptófitos, que vuelven a expresarse en otoño.

La acumulación en el tiempo del efecto diferencial de los distintos manejos sobre la vegetación herbácea selecciona ciertos rasgos funcionales. En las cubiertas labradas abundan los rasgos relacionados con la floración temprana, la germinación otoñal y el crecimiento ascendente o erecto de la vegetación, mientras que en las desbrozadas abundan los de floración tardía, germinación otoñal-primaveral y porte decumbente o crecimiento horizontal. La cubierta más alta, erecta y abierta es la espontánea, y la más baja, postrada y compacta es la de veza desbrozada. El desbrozado limita el crecimiento en altura y estimula el crecimiento horizontal.

Los resultados muestran la importancia a nivel florístico y funcional de la composición y estructura de la vegetación a nivel familiar, así como el grado de especiación de familias y géneros. De este modo, una de las tendencias diferenciales durante el estudio es el incremento de la proporción de Leguminosas en VI, de la proporción de Crucíferas en D, y de la proporción de Asteráceas en VS, así como de los géneros y especies que las representan.

La idea de redundancia se refleja en la cantidad de especies que conforman cada grupo funcional, la similitud entre ellas, y la presencia de otras especies poco frecuentes con rasgos que las hacen cumplir roles similares, todo ello supone una garantía de estabilidad ante las perturbaciones. Los grupos funcionales que presentan una mayor redundancia son el de Gramíneas y Fijadoras rastreras, cuya presencia se mantiene estable en el tiempo. Asimismo, las familias de leguminosas y gramíneas son siempre de las más abundantes, con varios géneros que aumentan su especiación, indicando que tienen un importante papel funcional.

Como respuesta a la precipitación, temperatura, relaciones interespecíficas, o modificación en las propiedades del suelo y la cubierta debidas al manejo, la misma especie puede formar parte de grupos funcionales distintos en función del año y el tratamiento, variando su abundancia, frecuencia y productividad. Así que, más importante que el número de grupos funcionales, resulta ser su composición específica variable. Asimismo, la variedad de factores que influyen en los hábitats y en la fisiología y funcionamiento de los distintos tipos, se reflejan en la gran plasticidad y adaptabilidad de las herbáceas, pudiendo mostrar una misma especie

un tipo de crecimiento y un ritmo fenológico distinto en función del año y de la cubierta en la que se encuentra.

La siembra de veza incorporada con laboreo conlleva una proliferación de plantas de floración temprana y ciclo corto que compiten por el espacio con la veza en otoño-invierno y sincronizan sus ritmos fenológicos con la veza sembrada. De este modo, prolifera el grupo Competitivas, de talla alta germinación temprana y crecimiento rápido con rasgos relacionados con una alta capacidad competitiva. También se incrementa la importancia de las gramíneas, ávidas en nitrógeno y el grupo Flor temprana con especies arvenses nitrófilas cosmopolitas.

Los rasgos que abundan en la cubierta espontánea son los relacionados con la floración temprana, el crecimiento erecto en altura y una alta lignificación en abril protagonizada por crucíferas y gramíneas. El laboreo en abril promueve los grupos Flor de invierno y Competitivas, de óptimo invernal-primaveral, floración temprana y primeras fases en roseta. Asimismo, permite la instalación temprana de especies de óptimo tanto otoñal como primaveral lo que implica una mayor funcionalidad de la cubierta; no mover el suelo en otoño incrementa la diversidad funcional, lo que permite que se enriquezca con los grupos Flor tardía y Fijadoras rastreras.

El buen establecimiento de la veza en las cubiertas labradas implica una reducción de la dominancia de ciertos grupos. La buena implantación de la veza reduce la importancia del grupo Competitivas (*Diplotaxis virgata*) en el tratamiento con veza labrada debido a la competencia por la luz principalmente. En cambio, en las cubiertas espontáneas la dominancia de este grupo es evidente, resultando la floración aparente más temprana, a final de marzo, por lo que guía el uso de los recursos por su capacidad de dominancia durante este periodo.

La cubierta de veza desbrozada permanece verde sobre el suelo un largo periodo de tiempo, lo que guarda relación con los rasgos funcionales relacionados con la evitación y la regeneración. El incremento de la importancia del grupo Fijadoras rastreras y la familia leguminosas aumenta su valor forrajero y para el control de la erosión. A nivel florístico y funcional, procura una mayor estabilidad por su capacidad de sobrevivir a las perturbaciones, un excelente control de la erosión y una gran capacidad de mantenimiento de las cadenas tróficas.

La cubierta de veza labrada es la que presenta una mayor densidad de plantas con polen y néctar disponible desde finales de invierno y hasta el mes de abril. En cuanto a la cubierta de veza desbrozada, se mantiene más verde y con pocas especies con floración aparente hasta el mes de abril, maximizándose la cobertura floral de mayo hasta el mes de junio-julio.

Las cubiertas de veza desbrozada acumulan más cambios, más direccionales, y más significativos, mostrando su potencial para sostener vegetación propia de un bosque aclarado e iniciar la transición hacia un pasto temporal. A pesar de presentar una mayor diversidad florística, de biotipos y grupos funcionales, una mayor equidad global y los menores valores de dominancia, los cambios en la flora que se producen al final del estudio promueven una ligera reducción de la equidad funcional, debido a la proliferación del grupo Perennizantes, representado por hemicriptófitos rosulados de lugares con alto contenido en materia orgánica. El análisis de biotipos muestra como la siembra de veza promueve la proliferación de Terófitos/Hemicriptófitos lo que denota una mayor disponibilidad de recursos tanto en

humedad como en nutrientes, además el desbrozado promueve la presencia de Hemicriptófitos/Geófitos.

La cubierta de veza labrada presentan una alta riqueza y diversidad florística y funcional, pero parece haber alcanzado un techo a nivel funcional motivado por la intensificación del manejo que limita la expresión de la flora en el tiempo y el espacio. Esta limitación explica que aún el aumento de la riqueza y diversidad florística y de biotipos, no se produzca un aumento en la riqueza y diversidad funcional. La vegetación muestra una alta dependencia de la precipitación otoñal-invernal en relación al mejor o peor establecimiento de la veza, y por su carácter terofítico. Este comportamiento implica que el periodo de mayor demanda de recursos suceda antes del primer control, coincidiendo con el óptimo fenológico de la vegetación en abril.

Durante el ensayo, las cubiertas espontáneas labradas se hacen más densas y complejas a nivel florístico y de biotipos aumentando su riqueza y diversidad; a pesar de presentar una menor riqueza funcional debido a su dinámica más simplificada, experimentan un incremento de la diversidad funcional y una reducción de la dominancia. Prolifera un estrato bajo representado por los grupos Escionitrófilas, Flor de invierno y Fijadoras rastreras, cuya productividad está relacionada con un enriquecimiento de la cubierta. El aumento de la importancia del grupo Fijadoras rastreras y Flor tardía durante el estudio, así como el aumento de la frecuencia de las leguminosas, es indicador del potencial de esta cubierta para regenerarse y madurar.

En el tratamiento VI, la veza se enzarza con el estrato alto promoviendo un denso dosel a media altura y la proliferación de otro más bajo a su sombra. El hecho de que en VI y VS el suelo esté más sombreado debe tener una implicación directa con el ahorro de agua del suelo. El enriquecimiento del suelo y su sombreado facilita la proliferación del estrato bajo de arvenses rastreras que acumula una biomasa significativa como el grupo Esciófilas evitadoras, y en los lugares menos nitrificados y más abiertos, aparece el grupo Ruderal seco, con mucha menos biomasa y con carácter ruderal y de pastizales secos.

En relación a la humedad contenida en el suelo a final de invierno, las cubiertas sembradas tienden a incrementar la presencia de cariofiláceas y escrofulariáceas, sobre todo en VS debido a la acumulación de materia orgánica en superficie. Las especies de estas familias integran los grupos Esciófilas evitadoras y Pequeñas pratenses, mientras que el primero agradece una mayor humedad y nitrificación, el segundo se retira conforme el suelo se enriquece.

El heterogéneo establecimiento de la veza junto al aumento de nitrógeno en el suelo en las cubiertas desbrozadas propicia el aumento de la importancia de las Asteráceas, antes y después del primer control de la cubierta, y de los grupos Margaritas y Perennizantes, ambos característicos y protagonistas de la inversión florística que sucede en este tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AQUINO YARINGAÑO, S. (2010). Impactos humanos en la provisión de servicios ecosistémicos por bosques tropicales muy húmedos: un enfoque de ecología funcional. *Recursos Naturales y Ambiente (CATIE)*.(Dic 2009), 58: 17-24.
- BOLÒS, O. DE, VIGO J., MASALLES, R.M. & NINOT, J.M. (1993). *Flora manual dels Països Catalans*. Editorial Pòrtic. Barcelona.
- CANO, A. (2007). “Bioindicadores ecológicos y manejo de cubiertas vegetales como herramienta para la implantación de una agricultura sostenible”. Tesis Doctoral. Drs. Cano, E. & García, A. Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Experimentales.
- CARRETERO, J.L. (2004). *Flora arvense española. Las malas hierbas de los cultivos españoles*. Phytoma. Valencia.
- CASANOYES, F., PLA, L., & DI RIENZO, J. A. (2011). *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Serie técnica, Informe técnico, 384. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- CASTROVIEJO, S. (coord.). (1986-2001). *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Vol. I-VIII, X, XIV. Real Jardín Botánico, CSIC. Madrid.
- CINGOLANI, A. M., POSSE, G., & COLLANTES, M. B. (2005). Plant functional traits, herbivore selectivity and response to sheep grazing in Patagonian steppe grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 42(1): 50-59.
- CORNELISSEN, J.H.C., LAVOREL, S., GARNIER, E., DÍAZ, S., BUCHMANN, N., GURVICH, D.E., ... & POORTER, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51: 335-380.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., , ... & VAN DEN BELT, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- DAHLGREN, J. P., ERIKSSON, O., BOLMGREN, K., STRINDELL, M., & EHRLÉN, J. (2006). Specific leaf area as a superior predictor of changes in field layer abundance during forest succession. *Journal of Vegetation Science*, 17(5): 577-582.
- DE BELLO, F., LAVOREL, S., DÍAZ, S., HARRINGTON, R., CORNELISSEN, J. H., BARDGETT, R. D., ... & HARRISON, P. A. (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19(10): 2873-2893.
- DÍAZ, S., & CABIDO, M. (2001). Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(11): 646-655.
- DÍAZ, S., CABIDO, M., ZAK, M., CARRETERO, E. M., & ARANÍBAR, J. (1999). Plant functional traits, ecosystem structure and land-use history along a climatic gradient in central-western Argentina. *Journal of Vegetation Science*, 651-660.
- DÍAZ, S., LAVOREL, S., CHAPIN III, F., TECCO, P.A., GURVICH, D.E., & GRIGULIST, K. (2007a). Capítulo 7: Functional Diversity – at the Crossroads between Ecosystem Functioning and Environmental Filters. In: Canadell, JG; Pataki, DE; Pitelka, LF. (eds.). *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer-Verlag, Nueva York. pp. 81-91.

- DÍAZ S., LAVOREL S., DE BELLO F., QUÉTIER F., & GRIGULIS K. (2007b). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52): 20684-20689
- DÍAZ, S., LAVOREL, S., MCINTYRE, S., FALCZUK, V., CASANOVES, F., MILCHUNAS, D.G., ... & CAMPBELL, B.D. (2007c). Plant trait responses to grazing a global synthesis. *Global Change Biology*, 13: 313-341.
- DÍAZ, S., NOY-MEIR, I., & CABIDO, M. (2001). Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits? *Journal of Applied Ecology*, 38(3): 497-508.
- DÍAZ S., QUÉTIER F., CÁCERES D.M., TRAINOR S.F., PÉREZ-HARGUINDEGUY N., BRET-HARTE M.S., ... & POORTER L. (2011). Linking functional diversity and social actor strategies in a framework for interdisciplinary analysis of nature's benefits to society. *PNAS*, 108 (3): 895-902. Disponible online en: <http://www.pnas.org>
- DÍAZ, T.E. (2006). *Plantas de utilidad en la nutrición animal: melíferas y forrajeras*. Curso en actividades pecuarias alternativas para el campo Astur: apicultura, lumbricultura y helicultura. Curso 2005/2006. Universidad de Vigo. Disponible en: http://directo.uniovi.es/postgrado/cabecera_ep.asp?Curso=2005&IdPrograma=1741
- FANLO, R., & CHOCARRO, C. (1989). Influencia del 'efecto corte' sobre la variación florística y la producción de los prados de dalla: Pirineo Aragonés. *Options Méditerran*, 3: 341-344.
- FERNÁNDEZ, R., TRAPERO, A., & DOMÍNGUEZ, J. (2010). *Experimentación en agricultura*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. 350p.
- FERRER, C., & BROCA, A. (2001). "Pastos y biodiversidad. Una revisión científica (1960-2000) de la producción bibliográfica de la SEEP". En Ponencias y comunicaciones de la XLI Reunión científica de la SEEP. I Foro Iberoamericano de Pastos, 25-55.
- FIREHUN, Y., & TAMADO, T. (2006). Weed flora in the Rift Valley sugarcane plantations of Ethiopia as influenced by soil types and agronomic practises. *Weed biology and management*. 6(3): 139-150.
- FLYNN, D. F., GOGOL-PROKURAT, M., NOGEIRE, T., MOLINARI, N., RICHERS, B. T., LIN, B. B., ... & DECLERCK, F. (2009). Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecology letters*, 12(1): 22-33.
- FONT I QUER, P., & DE BOLÒS, O. (1979). *Iniciació a la botànica*. Fontalba, Barcelona. 262 p.
- FORASTER, L. (2004). "Las cubiertas vegetales en el cultivo ecológico del olivo: evaluación de su impacto sobre el olivar y exploración de la integración del ganado ovino para su control". Trabajo Profesional Fin de Carrera. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- GARNIER, E., CORTEZ, J., BILLÈS, G., NAVAS, M. L., ROUMET, C., DEBUSSCHE, M., ... & TOUSSAINT, J. P. (2004). Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85(9): 2630-2637.
- GRIME, J. P. (1998). Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. *Journal of Ecology*, 86(6): 902-910.
- HAJJAR, R., JARVIS, D. I., & GEMMILL-HERREN, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(4): 261-270.

- HERAULT, B., HONNAY, O., & THOEN, D. (2005). Evaluation of the ecological restoration potential of plant communities in Norway spruce plantations using a life-trait based approach. *Journal of Applied Ecology*, 42(3): 536-545.
- HILLEBRAND, H., & MATTHIESSEN, B. (2009). Biodiversity in a complex world: consolidation and progress in functional biodiversity research. *Ecology letters*, 12(12): 1405-1419.
- HODGSON, J.G., WILSON, P.J., HUNT, R., GRIME, J.P. & THOMPSON, K. (1999). Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem. *Oikos*, 85: 282-296.
- HOOPER, D. U., CHAPIN III, F. S., EWEL, J. J., HECTOR, A., INCHAUSTI, P., LAVOREL, S., ... & WARDLE, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 75(1): 3-35.
- HOOPER, D. U., & VITOUSEK, P. M. (1997). The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science*, 277(5330): 1302-1305.
- HOOPER, D. U., & VITOUSEK, P. M. (1998). Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. *Ecological monographs*, 68(1): 121-149.
- IGME (1992). *Programa nacional de estudios ambientales aplicados a la minería: (provincia de La Coruña)*. Serie [Ingeniería geoambiental](#). Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid. p. 162.
- LALIBERTÉ, E., & LEGENDRE, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1): 299-305.
- LAVOREL, S., GRIGULIS, K., LAMARQUE, P., COLACE, M. P., GARDEN, D., GIREL, J., ... & DOUZET, R. (2011). Using plant functional traits to understand the landscape distribution of multiple ecosystem services. *Journal of Ecology*, 99(1): 135-147.
- LAVOREL, S., MCINTYRE, S., LANDSBERG, J., & FORBES, T. D. A. (1997). Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology & Evolution*, 12(12): 474-478.
- MASALLES, R. M. (2004). Respuestas de la vegetación arvense a los tratamientos agrícolas. *Lazaroa*, 25: 35-41.
- MCINTYRE, S., LAVOREL, S., & TREMONT, R. M. (1995). Plant life-history attributes: their relationship to disturbance response in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology*, 83: 31-44.
- MEA (Millenium Ecosystem Assessment) (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity Synthesis* World Resources Institute, Washington, DC. 31 p.
- MOLES, A. T., & WESTOBY, M. (2004). Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology*, 92(3): 372-383.
- OLEA, L., & SAN MIGUEL-AYANZ, A. (2006). The Spanish dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. *Grassland Science in Europe*, 11: 3-13.
- PECO, B., RICO, L., & AZCÁRATE, F. M. (2009) . Seed size and response to rainfall patterns in annual grasslands: 16 years of permanent plot data. *Journal of Vegetation Science*, 20(1): 8-16.
- PUJADAS-SALVÁ, A. (1986). "Flora arvense y ruderal de la provincia de Córdoba". Tesis Doctoral, Dr. Hernández, E. Universidad de Córdoba, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.

- PUJADAS-SALVÁ, A. (2010). Entrevista personal a informante.
- PUERTA PUERTA, FRANCISCO (2008). Entrevista personal a informante.
- QUÉTIER, F., LAVOREL, S., THUILLER, W., & DAVIES, I. (2007). Plant-trait-based modeling assessment of ecosystem-service sensitivity to land-use change. *Ecological Applications*, 17(8): 2377-2386.
- RIBA PIJUAN, F. (1993). "Demografia i dinàmica de poblacions de *Bromus diandrus* Roth en cereals d'hivern". Tesis doctoral, Dr Recasens i Guinjuan, J. & Cardona, A. Universitat de Lleida, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària.
- RÍOS RUIZ, S. & SALVADOR PÉREZ, F.M. (2009). 6220 Pastizales xerofíticos mediterráneos de vivaces y anuales (*). En: VV.AA. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid. 88 p.
- RODRIGUEZ-RIAÑO, T., ORTEGA-OLIVENCIA, A., & DEVESA, J. A. (1999). Types of androecium in the Fabaceae of SW Europe. *Annals of Botany*, 83(2): 109-116.
- SANS, F.X., & MASALLES, R.M (1987-1988). Fenología de las primeras etapas de la sucesión secundaria tras el abandono de los cultivos en la comarca de «Les Garrigues» (Cataluña Interior). *Lazaroa*, 10: 169.
- SANZ, J. M. H. (1986). Las formaciones vegetales de la comarca de Alcaraz (Albacete). *Al-Basit: Revista de estudios albacetenses*, 19: 69-94.
- STORKEY, J. (2004). Modelling seedling growth rates of 18 temperate arable weed species as a function of the environment and plant traits. *Annals of botany*, 93(6): 681-689.
- TAYLORSON, R. B., & BROWN, M. M. (1977). Accelerated after-ripening for overcoming seed dormancy in grass weeds. *Weed Science*, 473-476.
- TILMAN, D. (2001). Functional diversity. *Encyclopedia of biodiversity*, 3(1): 109-120.
- TILMAN, D., REICH, P. B., KNOPS, J., WEDIN, D., MIELKE, T., & LEHMAN, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294(5543): 843-845.
- UE (2010). Bienes y servicios ecosistémicos Medio ambiente. Septiembre de 2009. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_ES.pdf
- VALDÉS, B., TALAVERA, S. & FERNÁNDEZ-GALIANO E. (1987). *Flora Vascular de Andalucía Occidental* (3 volúmenes). Ed. Ketres, Barcelona, 555 p.
- VESK, P. A., LEISHMAN, M. R., & WESTOBY, M. (2004). Simple traits do not predict grazing response in Australian dry shrublands and woodlands. *Journal of Applied Ecology*, 41(1): 22-31.
- VESK, P. A., & WESTOBY, M. (2004). Sprouting ability across diverse disturbances and vegetation types worldwide. *Journal of Ecology*, 92(2): 310-320.
- VILLARÍAS, J.L. (1992). *Atlas de malas hierbas*. Mundi-Prensa. Madrid.
- WESTOBY, M., FALSTER, D. S., MOLES, A. T., VESK, P. A., & WRIGHT, I. J. (2002). Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual review of ecology and systematics*, 125-159.
- ZWILLINGER, D. (1996). *Standard Mathematical Tables and Formulae*. CRC Press.

CAPÍTULO 2: EL AGUA EN EL SUELO DEL OLIVAR

Para afrontar la falta de humedad del suelo en regiones con baja precipitación, se utilizan especies adaptadas a condiciones áridas o se aporta riego durante el periodo de déficit hídrico. Concretamente el olivo, es una especie mediterránea tradicionalmente cultivada en secano, adaptada a regiones con precipitaciones limitadas y de difícil acceso al riego (Abdel-Rahman, 1973; Hernández *et al.*, 2005; Tubeileh, 2009). A finales del siglo pasado, el avance de las técnicas de riego localizado y el uso de fertilizantes y fitosanitarios motivó la mayor intensificación de los olivares y su conversión de secano a regadío, siendo Andalucía la principal comunidad en transformación (Orgaz & Fereres, 2004; Gómez, 2010). La intensificación en el uso de estos factores de producción, provoca un aumento de la contaminación de suelos y aguas (Gil, 2007) que se agrava en las regiones semiáridas. Estas zonas son especialmente susceptibles a la degradación del suelo, y a menudo, este deterioro se debe en primer lugar al uso de técnicas agrícolas inapropiadas (Eitzinger *et al.*, 2007). El uso eficiente del agua repercute en un beneficio general tanto a nivel medioambiental como socioeconómico.

Varios estudios sobre cubiertas en el olivar y otros cultivos mediterráneos, encuentran evidencias sobre su capacidad de estabilizar los agregados del suelo (Ramos *et al.*, 2010), aumentar la infiltración, disminuir la escorrentía, y permitir un mayor movimiento y conservación de agua por las galerías que forman las raíces que a su vez sujetan el terreno (Dabney *et al.*, 2001; Gliessman, 2002; Gómez, 2005; Manns, 2007; Gómez *et al.*, 2009). La capacidad de retención de agua en los primeros centímetros mejora con el aporte de materia orgánica, al aumentar la porosidad (Hudson, 1994; Augé *et al.*, 2001; Labrador, 2003; DuPont, *et al.* 2008). Por otro lado, la presencia de residuos sobre el suelo reduce la evaporación (Castro *et al.*, 2008; Alcántara *et al.*, 2009). Asimismo, el sellado del suelo con barras o rastras en la época seca, tiene la finalidad de reducir la evaporación desde el suelo y la transpiración del olivo. Algunos estudios sobre la humedad del suelo y las cubiertas usan herbicidas (Castro & Pastor, 1991 y 1992; Humanes y Pastor, 1995; Moreno *et al.*, 2009), lo que las diferencia funcionalmente de las cubiertas ya establecidas sobre sistemas agroecológicos, como en el caso de estudio. En el presente estudio se evalúa la dinámica del agua durante seis años, por lo que es posible extraer patrones de respuesta tanto para años secos, medios y húmedos.

El establecimiento de cubiertas en el olivar repercute en un mayor contenido de agua en el suelo (Humanes y Pastor, 1995; Pajarón *et al.*, 1996; Pastor, 1995; Pastor *et al.*, 1997 y 2000; Gómez, 2005; Hernández *et al.*, 2005; Tubeileh *et al.*, 2009). Pastor (1998) determina que en un suelo con cubierta, las pérdidas de agua por evapotranspiración son similares a las pérdidas por evaporación directa desde el suelo desnudo. En otro estudio, se concluía que es mayor el agua infiltrada por un suelo con cubierta segada que con labor continua, por el aumento de la macroporosidad y mejora de la estructura del suelo, frente al sellado y la compactación del laboreo (Gómez, 2005). En el olivar de secano en Andalucía se han empleado con éxito cubiertas de cereales (Castro *et al.*, 1992) en el período otoño-invierno, recomendando la última semana de marzo como fecha para su control (Pastor, 1989). Por otro lado, en un olivar de secano en Córdoba en un año seco con cubierta de veza, se concluía que la siega es una alternativa viable para su manejo, y se podrían implantar sin problemas se manejan de forma óptima, ya que cuando se retrasa la siega, la merma en las reservas de agua en el suelo puede ser muy importante (Humanes y Pastor, 1995).

OBJETIVOS

El objetivo general es comprender cómo influye el establecimiento de distintas cubiertas vegetales y su manejo en la evolución de la reserva de agua en el suelo del olivar para optimizar su manejo.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Verificar el momento óptimo de control de las cubiertas.
- Analizar la evolución de la humedad del suelo en función del tipo de cubierta.
- Determinar qué variables explican la variación de agua en el suelo de marzo a junio.

Se parte de la hipótesis de que las cubiertas vegetales mejoran el contenido de agua en el suelo a través de los años de estudio, y que la desecación del suelo sucede a partir de marzo.

METODOLOGÍA

Para la medición de la humedad se utiliza el método gravimétrico por pérdida de peso por ser el más sencillo y utilizado. El contenido de agua en el suelo se refiere a la cantidad de agua que se halla en cada posición muestreada en un momento determinado. Las muestras de suelo se recogen en el centro de cada sub-parcela, en el punto equidistante más alejado entre cuatro árboles. Se toman dos muestras a distinta profundidad, una entre 0-25 cm y otra entre 25-50 cm con una barrena forestal de 5 cm de diámetro (Foto 2.1 y 2.2), aproximadamente cada 20 días. Si se han producido precipitaciones recientes, se dejan pasar unos días para que el movimiento gravitacional del agua en el perfil haya finalizado. Las muestras se envuelven en papel de aluminio y se introducen en bolsas de plástico. A continuación se pesan antes de introducirlas en la estufa a 105°C (Foto 2.3) (Porta *et al.*, 2003). A los pocos días de iniciarse la desecación se pesan de nuevo, y este proceso se repite hasta que llegan a peso constante. El muestreo se inicia en marzo y se prolonga hasta el inicio del verano (junio-julio). Se inicia en marzo ya que se estima que se ha producido en torno al 70% de la precipitación anual (otoño-invierno) y el suelo se encuentra a capacidad de campo o, al menos, con un contenido alto de humedad (Castro *et al.*, 1992; Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005).



Foto 2.1: Barrena forestal. Foto 2.2: Muestreo en campo. Foto 2.3: Estufa para el secado de muestras.

El segundo año de ensayo (2004-2005), se muestrea también en febrero, ya que el desbrozado efectuado el primer año, generó tal cantidad de restos vegetales en comparación a las cubiertas labradas, que se pensó podía haber reducido las pérdidas de agua en el tratamiento VS frente a D y VI (Fotos 2.4 y 2.5). Sin embargo, el resultado de la medición no fue significativamente distinto entre tratamientos, por lo que no se repite en los años sucesivos. El cuarto y sexto año, el muestreo se prolonga hasta el mes de agosto con la intención de analizar la evolución de la humedad más allá del segundo control de la cubierta. En conjunto, se analiza la evolución del contenido de agua en el suelo a partir de las muestras obtenidas en 33 fechas distintas (Tabla 2.1.) comenzando en marzo de 2004 y finalizando en agosto de 2009.



Foto 2.4: Detalle de la cubierta desbrozada tras el segundo control.
Foto 2.5: Detalle de la misma cubierta febrero del segundo año de ensayo tras el

Tabla 2.1. Calendario de muestreo del contenido de agua en el suelo de 2004 a 2009

	Fechas de muestreo					
2003-2004	10/03/2004	07/04/2004	05/05/2004	21/05/2004	07/06/2004	26/06/2004
2004-2005	21/02/2005	09/03/2005	30/03/2005	27/04/2005	21/05/2005	13/06/2005
2005-2006	09/03/2006	03/04/2006	27/04/2006	24/05/2006	23/06/2006	-
2006-2007	05/03/2007	26/03/2007	26/04/2007	24/05/2007	04/07/2007	08/08/2007
2007-2008	05/03/2008	29/03/2008	30/04/2008	23/05/2008	17/06/2008	16/07/2008
2008-2009	19/03/2009	12/05/2009	15/06/2009	06/07/2009	04/08/2009	-

El contenido de agua se expresa en porcentaje sobre peso de suelo seco, y se calcula para cada muestra de suelo como contenido másico de agua a través de la expresión:

$w = (M_w/M_s)$, donde M_w = masa de agua (Kg) y M_s =masa de suelo seco (Kg)

Es la expresión más utilizada porque se determina fácilmente a partir del método gravimétrico. Además, la humedad volumétrica, θ_v , se puede determinar a partir de la másica w y del valor de la densidad aparente del suelo seco (ρ_d^b) y del agua (ρ_w): $\theta_v = w * (\rho_d^b / \rho_w)$ (Fuentes Yagüe, 1990).

Un concepto útil para analizar cómo afecta la evolución del contenido de agua al olivo, es el de capacidad de retención de agua disponible para las plantas. Se basa en una clasificación del agua edáfica que considera como disponible aquella retenida entre la denominada capacidad de campo (C.C) y el punto de marchitez permanente (P.M.P). La Tabla 2.2 recoge los límites de contenido de agua en el suelo aprovechable para los cultivos en función de la textura. Sin embargo, para el caso de estudio, se determina el valor del contenido de agua que retiene una muestra de suelo en equilibrio con una presión de 33 kPa (C.C.) y 1500 kPa (P.M.P) en el

laboratorio del Área de Producción Agraria del I.F.A.P.A Camino del Purchil (Granada). Tras esta prueba se obtuvo que la humedad correspondiente a capacidad de campo se situó sobre el 27%, y el punto de marchitez permanente sobre el 14% del peso de suelo seco.

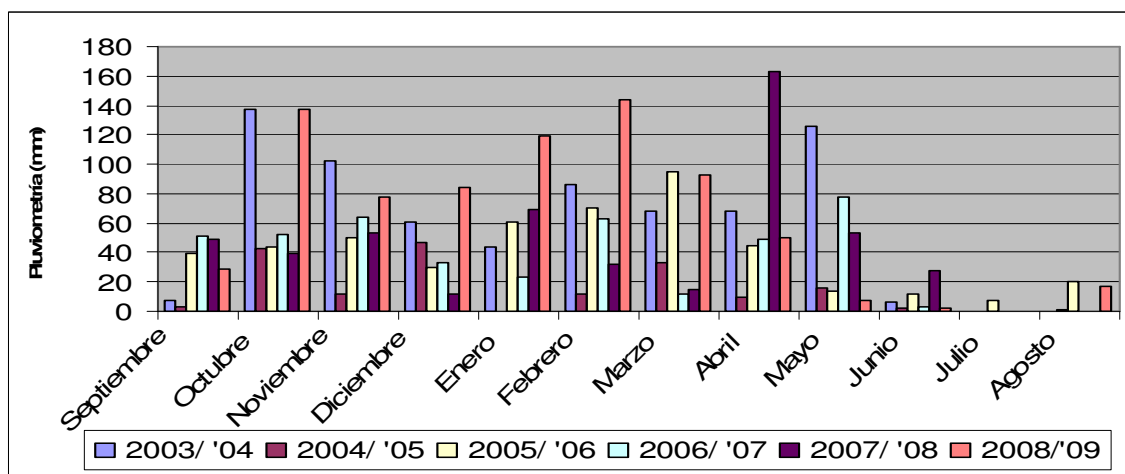
Tabla 2.2. Agua aprovechable por el cultivo según textura (% suelo seco) (Urbano Terrón, 1992)

	Capacidad de Campo	Punto Marchitez Permanente
Suelo arenoso	10-15	3-5
Suelo areno-limoso	20	5-10
Suelo franco	20-30	10
Suelo arcilloso	30-40	10-15

Para el cálculo de las necesidades de agua del cultivo y de cada una de las cubiertas ensayadas, utilizamos la siguiente expresión: $ET(\text{cultivo}) = E_{To} \times K_c$, donde E_{To} = evapotranspiración potencial, calculada por la Red de Estaciones Agroclimáticas de Andalucía en base al método de Blaney-Criddle (1950) y K_c = coeficiente de cultivo, tomando valores de 1 para las cubiertas durante todo el período de crecimiento y 0,6 para el olivar (Fuentes Yagüe, 1990; Urbano Terrón, 1992). El valor de ET obtenido en el caso de la cubierta, está ponderado en función del porcentaje de cobertura del suelo para cada tratamiento y fecha de muestreo.

A través de la Estación Meteorológica de Iznalloz, se recogen los valores de precipitación y temperatura para toda la serie temporal de estudio (Figura 2.1).

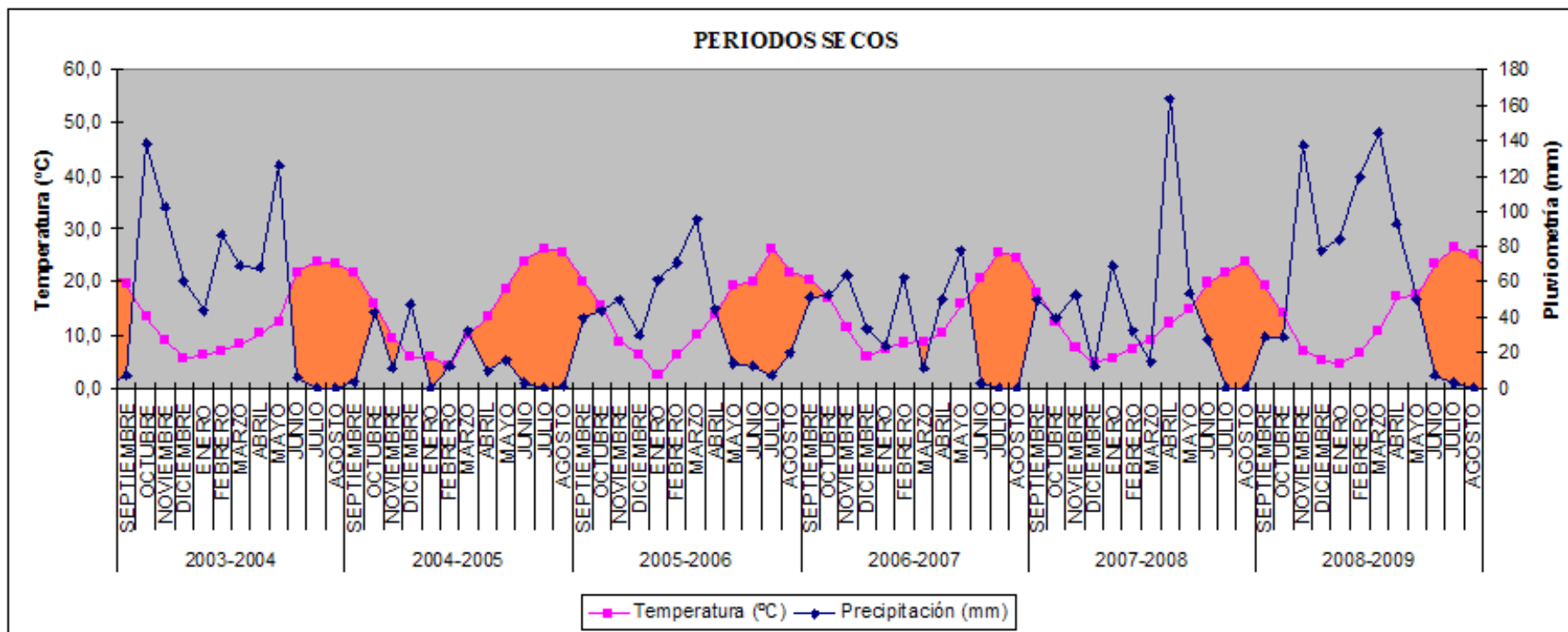
Figura 2.1. Precipitación durante los años de ensayo en la Estación Meteorológica de Iznalloz



Fuente: Elaboración propia a partir de CAP (2003-2009)

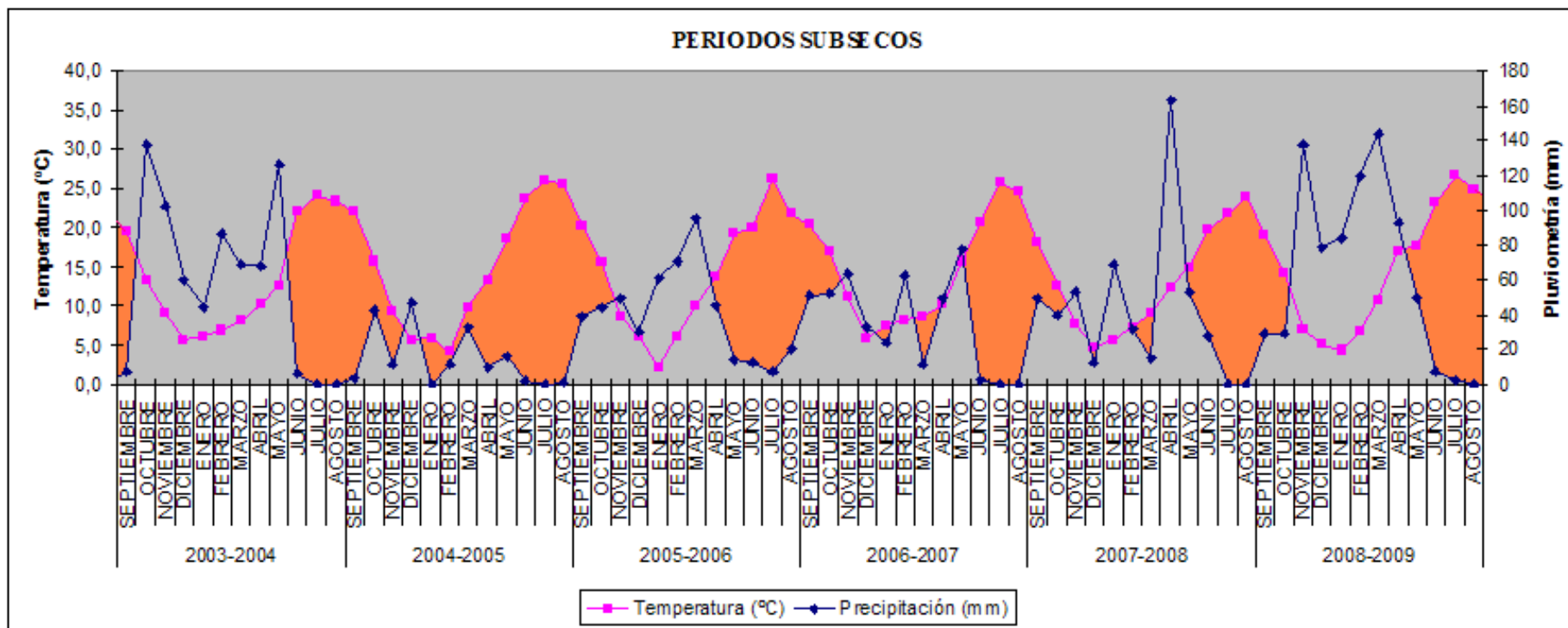
La precipitación anual no es por sí sola un buen estimador de la duración del período de sequía para un año dado en el clima mediterráneo (Joffre & Rambal, 1993), por lo que hay que tener en cuenta los períodos de sequía y sub-sequía, que se recogen en las Figuras 2.2 y 2.3.

Figura 2.2. Climodiagrama de Walter-Lieth para los años agrícolas 2003-2009. Periodos secos



Fuente: Elaboración propia a partir de CAP (2003-2009)

Figura 2.3. Climodiagrama de Walter-Lieth para los años agrícolas 2003-2009. Periodos subsecos



Fuente: Elaboración propia a partir de CAP (2003-2009)

En último lugar, para profundizar en la dinámica de la humedad del suelo es necesario relacionarla con otras variables independientes que se han medido durante el estudio a nivel florístico, productivo, de propiedades físico-químicas del suelo, etc. Esta manera de proceder permite conocer las variables que influyen en el contenido de humedad del suelo, escoger aquellas que mejor lo definen y ordenarlas según su importancia. La elección de variables está más enfocada a aquellos indicadores relacionados con el suelo, la cubierta y su manejo, que hacia indicadores agroclimáticos, que además mantienen una alta colinealidad con la variable dependiente, dificultando la interpretación de la regresión lineal. La Tabla 2.3 muestra la relación de indicadores utilizados en las Correlaciones bivariadas y en la Regresión lineal. La metodología utilizada para obtener los datos correspondientes a cada variable para cada sub-parcela y año de estudio, se pueden consultar en el capítulo indicado en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Variables relacionadas con el contenido de humedad en el suelo

Variable / Indicador	Medición	Mes	Muestreo	Capítulo
Índice de cobertura verde (%)	En campo	III- VI	2003 a 2009	3
Índice de cobertura total (%)	En campo	III- VI	2003 a 2009	3
Densidad aparente (Mg/m ³)	En campo	III	2009	3
Agua a Capacidad de Campo (%)	En campo	III	2009	2
Pendiente del terreno (%)	En campo	III	2009	3
Contenido de Materia orgánica (%)	En campo	XI	'04-'05, '09	3
Contenido de arcilla (%)	En campo	III	'04-'05, '09	3
Densidad de plantas (individuos/m ²)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	1
Densidad de asteráceas (individuos/m ²)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	1
Tamaño de arvenses (gr MS /individuo)	Cálculo*	IV/VI	'03-'09/'08-'09	1
Índice de Shannon	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	1
Riqueza específica (nº de especies)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	1
Materia fresca (Kg/Ha)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	3
Materia seca (Kg/Ha)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	3
Materia fresca de veza (Kg/Ha)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	3
Materia seca de veza (Kg/Ha)	En campo	IV/VI	'03-'09/'08-'09	3
Días de marzo hasta el 1er corte	Calendario		2003 a 2009	-
Días de la última lluvia hasta el 1er corte	Datos climáticos		2003 a 2009	2
Días de la última lluvia hasta el 2º corte	Datos climáticos		2003 a 2009	2

*La variable Tamaño de arvenses, se obtiene de multiplicar los datos correspondientes a la materia seca producida y los datos de la densidad de individuos totales.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para poder estudiar los datos de humedad recogidos de marzo a principios de verano a través de los análisis individuales o combinados de la varianza, es necesario que los conjuntos de datos que forman cada muestra cumplan los supuestos de normalidad, aditividad y homocedasticidad, y distribución aleatoria de los residuos. En ocasiones, aún cumplir con los supuestos del ANOVA, no es posible analizar los datos de todos los años de ensayo de forma conjunta. En estos casos, se omiten las repeticiones con valores extremos, o bien se agrupan los datos en distintos paquetes de análisis. En la primera parte se estudian los valores de humedad tomados para cada fecha de muestreo de forma independiente. Se realizan los análisis de la varianza en relación a la humedad contenida a dos profundidades distintas de marzo a verano, cada fecha por separado en base a un diseño en bloques completamente aleatorizado (Anexo 0) con el programa Statistix 8. Todos los resultados se pueden consultar en el Anexo 2.A.

A continuación se tratan los datos de los seis años de ensayo de forma conjunta (ANOVA combinado), lo que aumenta el poder predictivo del análisis frente al realizado por fecha de muestreo. Para ello es necesario reducir su variabilidad, por lo que se omiten los meses de muestreo que no reúnen suficientes repeticiones y se agrupan los años de ensayo en paquetes más pequeños lo que contribuye a la homogeneidad de las varianzas entre experimentos y a obtener tendencias diferenciales. Para abordar el estudio de los datos recogidos durante los seis años de estudio de forma conjunta, se realizan los correspondientes análisis de la varianza combinado en base a un diseño en Split-plot. El formato de un ANOVA combinado de medidas repetidas en el tiempo para un diseño en bloques completos al azar es idéntico a un diseño en parcelas divididas (Split-plot), con los tratamientos como parcela principal y el tiempo de observación como sub-parcela (mes o año). El programa Statistix permite insertar el modelo estadístico utilizando el esquema del diseño en Split-plot, o bien mediante un ANOVA general, donde los términos se introducen manualmente. En la tercera parte del tratamiento estadístico, los datos se analizan en base a un diseño completamente anidado, ya que, la medición de la humedad del suelo en todos los tratamientos se repite sobre las mismas unidades experimentales, meses del año, y durante varios años en serie (2004-2009). El análisis para este caso, sigue la estructura general de un modelo jerarquizado, como el de parcelas subdivididas, Split-split-plot, con los tratamientos como parcela principal, el mes de observación como sub-parcela, y el año de observación como sub-sub-parcela. El programa Statistix permite insertar el modelo estadístico utilizando el esquema del diseño en Split-split-plot, o bien mediante un ANOVA general, donde los términos se introducen manualmente. Se incluyen en el análisis combinado todos aquellos experimentos (años o meses distintos de estudio) que cumplan con la homogeneidad de la varianza (error global) de cada experimento en bloques al azar para el análisis en parcelas divididas, y de los errores del factor principal del modelo y de su interacción con el factor subparcela de cada experimento en Split-plot, para el análisis en parcelas subdivididas. Para evaluar la posibilidad de combinar los distintos errores se utiliza la distribución F de Fisher cuando se quieren combinar dos años distintos y Chi-cuadrado para series de más de dos años o meses.

El análisis combinado permite examinar el efecto de la interacción entre un tratamiento y el año o mes de observación. La interacción tratamiento*mes tiene un claro significado

agronómico, y abordamos su estudio a través de una ANOVA general donde se incluye esta interacción como un término del modelo: TRAT BLOQUE FECHA FECHA*TRAT. Esto permite analizar la interacción a lo largo del tiempo (Anexo 2.A). Las diferencias entre tratamientos se establecen a través de la comparación de medias, a un nivel de significación $\alpha=0,05$, mediante el método de la mínima diferencia significativa (LSD). Los resultados de la comparación de medias aparecen seguidas de una o varias letras, cada letra señala a un grupo homogéneo de medias, de forma que medias seguidas por alguna letra común no difieren significativamente entre sí para el nivel α elegido (Fernández *et al.*, 2010). En ocasiones las medias aparecen en una matriz triangular, destacando con un asterisco todos los pares de medias que difieren significativamente.

También se utiliza el procedimiento Correlaciones bivariadas para saber de qué manera están relacionadas con la humedad del suelo las variables de la Tabla 2.3. Los datos para cada variable mantienen una relación lineal con la variable dependiente, por lo que se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson para medir la asociación entre ellas, junto a su prueba de significación a dos niveles distintos ($\alpha=0,01$ y $\alpha=0,05$). Se eliminan los valores atípicos, y los datos se agrupan por años distintos en función de sus similares condiciones climáticas. El procedimiento se lleva a cabo con el programa SPSS 21 para la humedad de 0 a 25 centímetros y de 25 a 50 centímetros. Para finalizar, se realiza un estudio de Regresión lineal para localizar las variables que puedan explicar o predecir la oscilación en los valores de humedad del suelo, así como qué porcentaje de la variabilidad total de los datos de humedad está explicado por cada una de ellas. El método utilizado para la selección de variables en el modelo de regresión lineal es el de pasos sucesivos. Las regresiones se utilizan en relación al agua contenida en el suelo, para dos profundidades distintas (0 a 25 cm y 25 a 50 cm) y para dos momentos del año distintos, antes y después del primer control de la cubierta (abril y junio respectivamente). El estudio de regresión lineal se realiza gracias al programa SPSS, que permite el cálculo de los estadísticos de colinealidad y su diagnóstico para cada modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2.4 muestra como la evolución de la humedad del suelo depende fuertemente de la precipitación ocurrida, que ha sido muy variable durante los seis años de estudio.

La precipitación en cada momento del año explica sin duda gran parte de la variabilidad de la humedad en el suelo, sin embargo en ciertos momentos, tienen un papel importante en el balance hídrico, otras entradas como el arrastre lateral (a través del suelo o las nieblas), y en cantidad muy pequeña por absorción de vapor de agua a través de la epidermis. El sistema puede almacenar agua en el suelo, en el mantillo y en las plantas, en cantidad variable a lo largo del año y de un año a otro. En concreto, el agua retenida en las plantas, forma parte de un componente importante en el balance hídrico del olivar (Pajarón Sotomayor, 2007).

Diversos autores, al muestrear la humedad del suelo en olivares de secano obtienen valores similares a los que se reflejan en la Tabla 2.4 (Castro *et al.*, 1992; Hernández *et al.*, 2005; Pastor *et al.*, 2000; Tubeileh, 2009).

Figura 2.4. Precipitación ocurrida y humedad del suelo de 0 a 50 cm de profundidad según el tratamiento ensayado durante la serie de años de estudio (2004-2009). VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada.

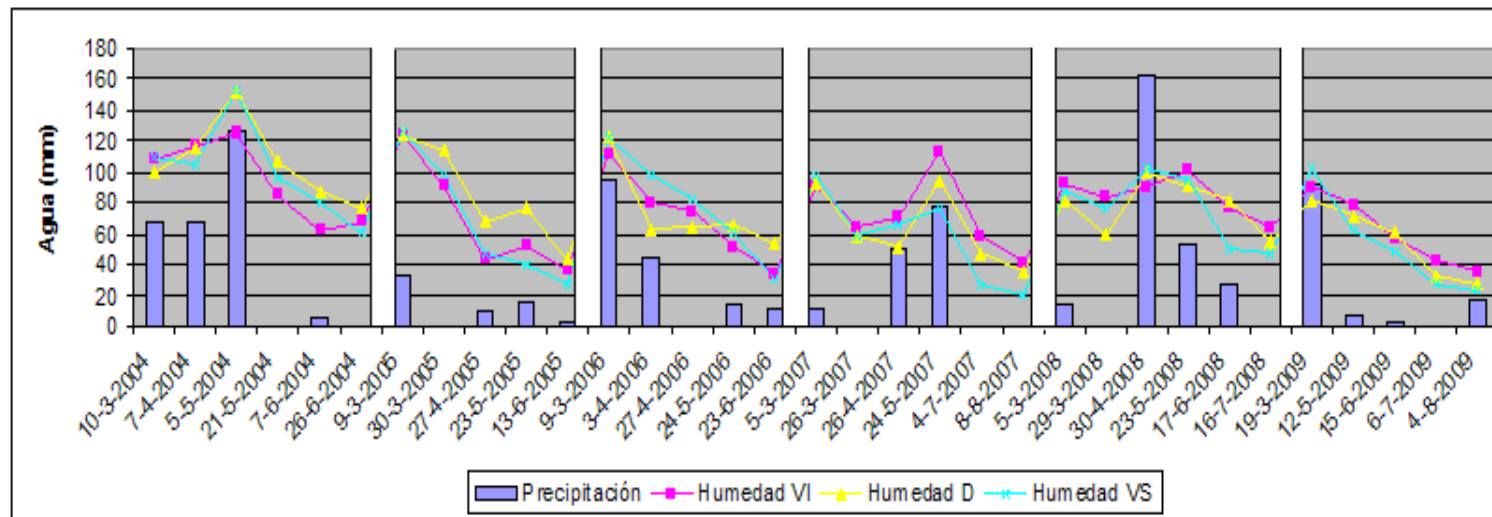


Tabla 2.4. Humedad del suelo (%) entre calles a distinta profundidad según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009 para cada fecha de muestreo.

	Profundidad del suelo (0-25 cm)			Profundidad del suelo (25-50 cm)		
	VI	D	VS	VI	D	VS
10/03/2004	15,76 A	16,25 A	15,86 A	15,79 A	13,37 A	15,18 A
07/04/2004	15,33 A	15,31 A	15,79 A	16,43 A	16,80 A	13,96 A
05/05/2004	18,76 B	21,6 A	19,15 B	17,66 A	20,48 A	18,97 A
21/05/2004	12,73 A	12,34 A	12,75 A	11,88 A	16,6 A	15,60 A
* Mayo '04	15,75 A	16,97 A	15,95 A	14,77 A	19,05 A	16,28 A
07/06/2004	8,44 A	9,73 A	10,84 A	9,43 A	12,38 A	11,22 A
26/06/2004	9,96 A	9,79 A	9,05 A	10,01 A	10,58 A	8,31 A
* Junio '04	9,20 A	9,77 A	9,95 A	9,72 A	12,06 A	9,77 A
09/03/2005	16,98 A	17,31 A	17,32 A	18,81 A	18,24 A	17,99 A
30/03/2005	14,14 A	15,81 A	14,61 A	12,44 A	17,32 A	12,62 A
* Marzo '05	15,56 A	16,56 A	15,96 A	15,63 A	17,78 A	15,31 A
27/04/2005	6,69 A	6,88 A	6,84 A	6,24 A	10,81 A	5,5 A
21/05/2005	6,36 A	6,59 A	6,4 A	7,72 A	12,46 A	4,56 A
13/06/2005	6,03 A	5,67 A	4,24 A	4,86 A	5,58 A	4,03 A
09/03/2006	15,90 A	16,35 A	15,63 A	16,37 A	16,45 A	17,04 A
03/04/2006	11,94 A	10,9 A	14,01 A	11,62 AB	7,06 B	13,30 A
27/04/2006	11,13 A	10,48 A	12,11 A	10,55 A	7,71 A	11,05 A
* Abril '06	11,54 AB	10,69 B	13,06 A	11,09 A	7,38 B	12,18 A
24/05/2006	8,06 A	9,55 A	8,75 A	6,99 A	8,96 A	8,24 A
23/06/2006	4,41 B	7,02 A	3,69 B	5,38 A	7,68 A	4,52 A
05/03/2007	13,39 A	12,71 A	14,29 A	13,191 A	10,2 A	12,52 A
26/03/2007	9,83 A	8,42 A	8,33 A	9,41 A	7,45 A	8,74 A
* Marzo '07	11,61 A	10,57 A	11,31 A	11,30 A	8,83 A	10,64 A
26/04/2007	10,39 A	8,60 A	10,17 A	10,13 A	6,03 B	7,94 AB
24/05/2007	17,13 A	15,04 A	10,92 B	15,83 A	12,03 B	11,35 B
04/07/2007	8,37 A	6,81 AB	4,38 B	8,71 A	7,19 AB	3,95 B
08/08/2007	8,11 A	6,42 AB	3,94 B	6,57 A	6 A	3,45 A
05/03/2008	13,78 A	11,67A	12,89 A	13,11 A	11,21 A	12,22 A
29/03/2008	11,62 A	9,84 A	10,94 A	12,03 A	6,91 A	10,41 A
*Marzo '08	12,70 A	10,76 B	11,91 AB	12,57 A	9,06 A	11,31 A
30/04/2008	12,86 A	11,038 B	13,42 A	10,83 A	13,31 A	12,95 A
23/05/2008	12,79 A	11,62 A	13,07 A	13,34 A	10,86 A	10,47 A
17/06/2008	11,3 AB	11,97 A	8,22 B	10,84 A	10,85 A	6,68 A
16/07/2008	8,87 A	8,22 A	7,69 A	9,74 A	7,09 A	6 A
19/03/2009	13,3 A	11,73 A	13,092 A	12,88 A	10,28 A	16,92 A
12/05/2009	11,15 A	11,08 A	9,71 A	11,80 A	9,45 AB	8,43 B
15/06/2009	7,46 AB	8,58 A	6,33 B	9,53 A	8,51 A	7,81 A
06/07/2009	5,80 A	5,35 A	3,81 A	6,62 A	4,64 B	3,71 B
04/08/2009	4,43 A	4,16 A	3,29 A	5,77 A	4,54 A	3,48 A

* Cuando coinciden dos muestreos en el mismo mes, aparecen los resultados de la media mensual. .VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

La distinta distribución e intensidad de las lluvias de un año a otro conlleva que el momento en que el suelo está más cargado de agua, no siempre sea tras las lluvias otoñales-invernales (Figura 2.5). Por ejemplo, el primer, cuarto y quinto año, los suelos están más húmedos y contienen más agua en el suelo en primavera que a la salida del invierno, así que, el contenido de humedad más cercano a la capacidad de campo del suelo para ambas profundidades ocurre en abril y mayo. Por otro lado, los años en que las lluvias se concentran en otoño e invierno, la mayor humedad se acumula en el mes de marzo (Tabla 2.4 y Figura 2.5). El mayor contenido de agua en el suelo se registra para la primavera del primer año, que fue la más húmeda de la serie, alcanzándose un contenido entorno al 18-22%. En el resto de los años nunca superó el 17%, lejos de la capacidad potencial de almacenaje que es del 27% (Tabla 2.5).

Gracias al análisis realizado por el equipo del Área de Producción Agraria del I.F.A.P.A Camino del Purchil (Granada), se obtienen los valores de la Tabla 2.5 en relación a la cantidad de agua que el suelo es capaz de contener. Este muestreo permite calcular el contenido medio de agua a capacidad de campo y en el punto de marchitez que aparece representado en la Figura 2.5 cuyo valor difiere en función de la profundidad de muestreo (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Contenido de agua en el suelo (%) aprovechable por el olivar.

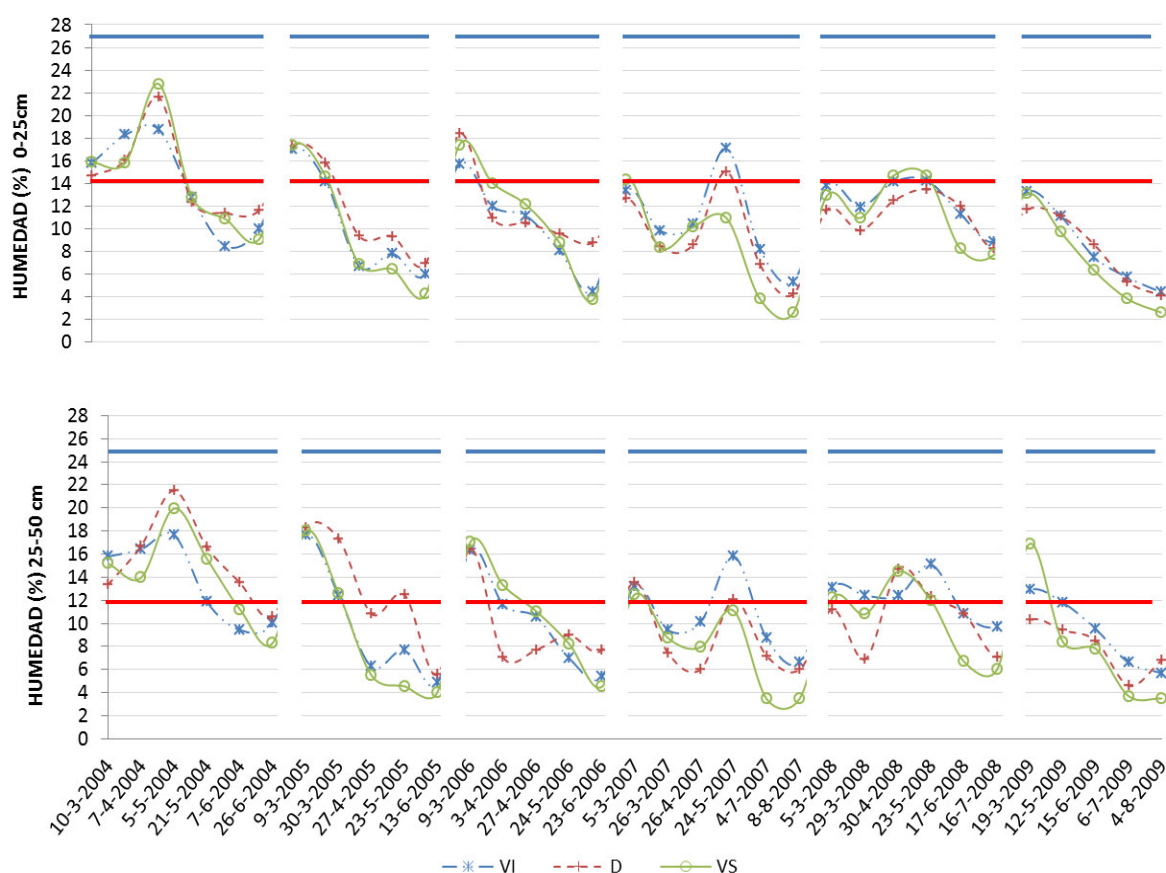
	0-2 cm			2-5 cm			5-10 cm			15-30 cm		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
AguaCC	30,8	29,5	34,9	30,3	27,7	28,2	29,0	25,1	26,9	26,5	23,9	24,7
AguaPMP	14,6B	14,1B	21,5A	14,6	13,9	15,3	13,6	13,4	14,1	12,2	11,7	12,8
Agua útil	16,5	15,5	13	15,8	13,7	13	15,7A	11,5B	13AB	14,5	12	12

CC: Capacidad de Campo; PMP: Punto de Marchitez Permanente; VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Los resultados del muestreo estratificado del suelo (Tabla 2.5) revelan un mayor contenido de agua útil en las cubiertas sembradas de veza, con valores significativamente mayores en las cubiertas de veza labrada frente a las espontáneas a 10 cm de profundidad. Asimismo, las cubiertas desbrozadas son las que presentan los mayores valores de agua a capacidad de campo en los primeros 2 cm de suelo, pero una humedad en el punto de marchitez permanente significativamente más alta que en los suelos labrados. La naturaleza de los dos primeros centímetros de suelo en los tratamientos desbrozados conlleva un significativo mayor valor de agua en el punto de marchitez lo que significaría que esta capa de suelo es menos porosa que la inmediatamente inferior. La importante proporción de limo en los dos primeros centímetros de suelo en la cubierta desbrozada (Capítulo 3) retiene con fuerza el agua, comportamiento que se acentúa cuando esta capa se compacta (Lampkin, 2001).

La principal tendencia a destacar, es que el suelo presenta un balance hídrico negativo durante la primavera de forma general durante gran parte del ensayo, sobre todo en profundidad (Figura 2.5). Esto quiere decir que las salidas de agua debidas a la transpiración de la cubierta, el olivar, y la evaporación desde el suelo principalmente, superan a las entradas debidas a la lluvia, lo que provoca que el contenido de agua del suelo baje por debajo del punto de marchitez permanente, agotándose las reservas de agua útil. Los balances más negativos coinciden en gran parte con los periodos secos que se muestran en el diagrama de Walter-Lieth (Figura 2.2 y 2.3).

Figura 2.5. Evolución del contenido de agua en el suelo en los 50 primeros centímetros de suelo.



VI: veza sembrada labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: veza sembrada desbrozada. Línea roja: agua en el Punto de Marchitez Permanente; Línea azul: agua a Capacidad de Campo.

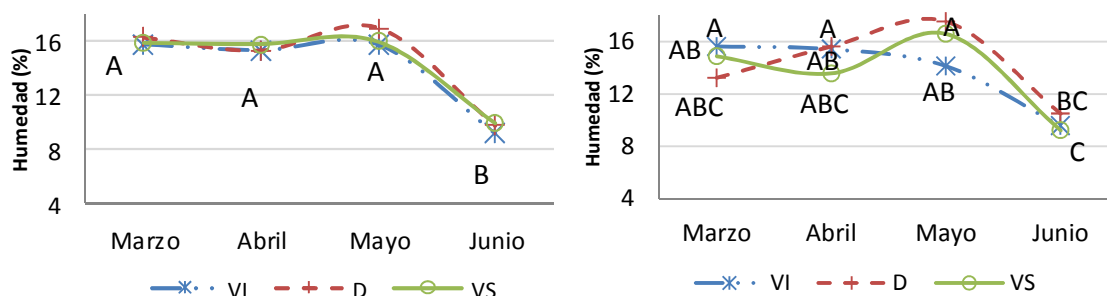
Durante el primer año, la cubierta espontánea logra almacenar una mayor humedad en el suelo en profundidad frente a las sembradas debido a la eliminación tardía de la cubierta (29 de mayo); la veza sembrada, semilla y madura en el campo (abril-mayo), con el consumo diferencial de agua que esto implica. En los Gráficos del 2.1 al 2.12, se puede ver de forma más clara la evolución de la humedad mensual a través de la interacción tratamiento*mes para cada año y profundidad de muestreo.

De este modo, el primer año (Gráfico 2.1 y 2.2), al presentar un otoño-invierno, y una primavera húmedos, no aparecen diferencias estadísticas entre tratamientos, con valores muy semejantes para el perfil superficial, manteniéndose la humedad hasta el mes de mayo en torno al 16%, para reducirse hasta junio. Sin embargo, en el perfil más profundo, la mayor productividad de la cubierta de veza labrada (VI) ha implicado un cambio de tendencia, con un menor contenido de agua en el suelo a partir del mes de mayo y hasta el mes de junio debido a un tardío control.

Por el contrario, el segundo año, debido a la sequía otoñal-invernal, todas las cubiertas muestran un descenso acusado y homogéneo de humedad desde finales de marzo (Gráficos 2.3 y 2.4). La humedad en superficie es similar en los tres tratamientos, hasta el mes de junio, sin embargo, las diferencias se acentúan en el perfil profundo, donde las cubiertas sembradas se ven penalizadas por la sequía extrema, apareciendo valores de humedad significativamente

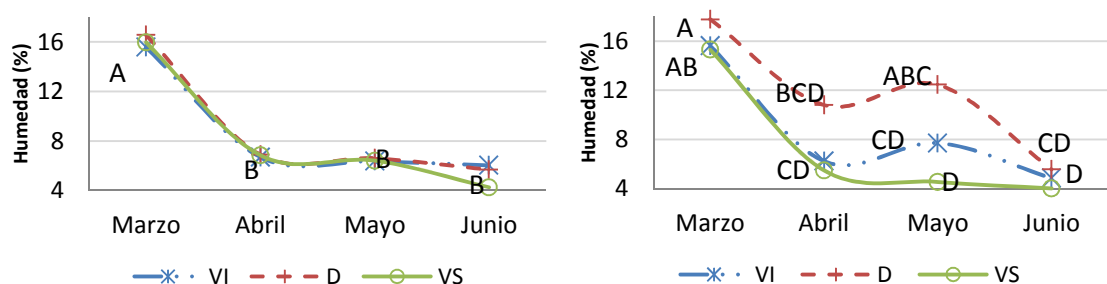
menores en las cubiertas desbrozadas frente a las espontáneas. Los años con sequía otoñal, invernal y primaveral, como el segundo año, y los años con eliminación tardía de la cubierta, como el primero, provocan una reducción mayor de agua en los suelos con cubierta de veza en comparación a la cubierta espontánea.

Gráficos 2.1 y 2.2: Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2004.



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

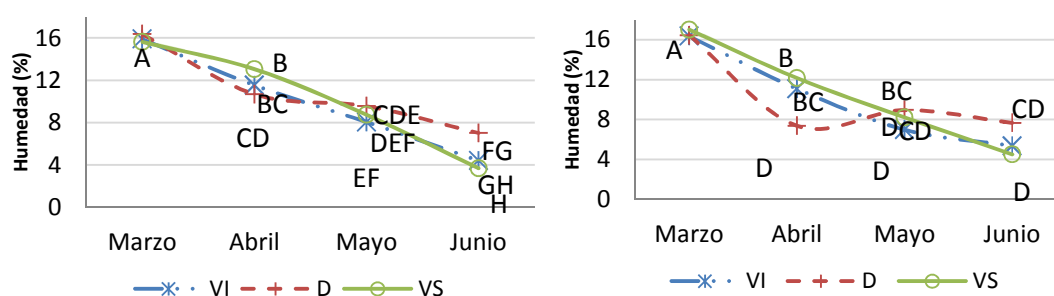
Gráficos 2.3 y 2.4: Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2005.



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

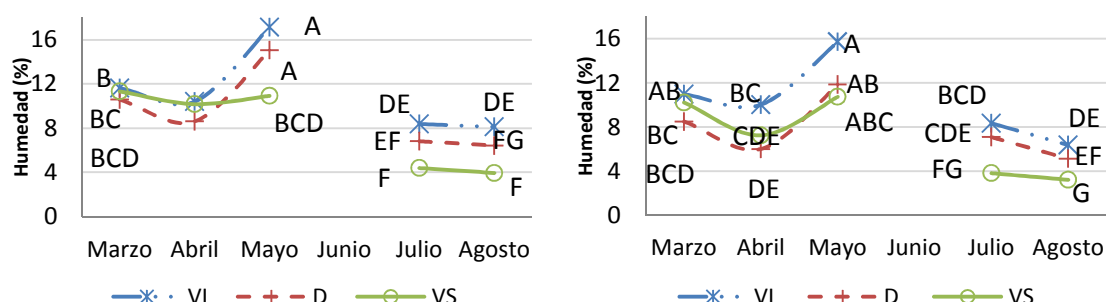
El tercer y cuarto año de estudio con una precipitación en torno a los 450 mm y una primavera seca, se hacen más evidentes las diferencias entre tratamientos. En abril del tercer año, en todo el perfil del suelo, la humedad es significativamente menor en las cubiertas espontáneas, mientras que para el mes de junio es en el perfil superficial donde la cubierta desbrozada contiene una significativa menor humedad frente a la cubierta natural (Gráfico 2.5 y 2.6).

Gráficos 2.5 y 2.6: Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2006.



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

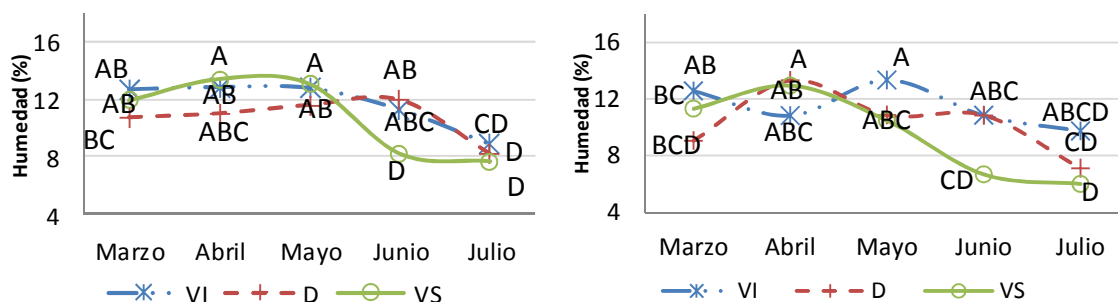
Gráfico 2.7 y 2.8. Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2007.



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El cuarto año, en el perfil profundo, la cubierta natural en el mes de abril presenta una significativa menor humedad (Gráfico 2.8). Sin embargo, en el mes de mayo, la tendencia se invierte y son las cubiertas labradas las que presentan una significativa mayor humedad frente a las desbrozadas en el perfil más superficial (Gráfico 2.7) que se ha recargado por la lluvia de 82,6 mm. Se observa como esta lluvia permite una recarga en profundidad similar para todos los tratamientos, con una ligera ventaja para VI. A partir del segundo control de la cubierta, ya en verano, el contenido de humedad se estabiliza en superficie, y en profundidad todavía se reduce hasta agosto. Durante este periodo, la cubierta desbrozada presenta valores de humedad menores en todo el perfil y significativamente mayores en la cubierta de veza labrada, tanto en julio como en agosto.

Gráfico 2.9 y 2.10. Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2008.

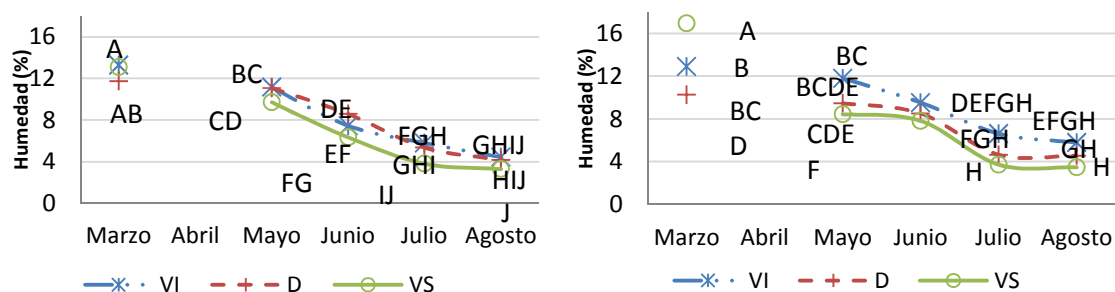


ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El quinto y sexto año (Gráficos 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12), cuando la precipitación anual supera los 500 mm, las diferencias entre tratamientos vuelven a diluirse. Sin embargo, el quinto año presenta un otoño-invierno seco y una primavera húmeda, y en el sexto año a la inversa, con el otoño-invierno más lluvioso de la serie y una primavera seca. El quinto año aparecen diferencias significativas en el perfil más superficial para el mes de junio, con valores de humedad significativamente inferiores para la cubierta desbrozada (Gráfico 2.9). Los años con mayor precipitación en otoño-invierno, las cubiertas que salen del invierno con más agua en el suelo son las sembradas, tal como se observa en el perfil más profundo para el sexto año, siendo la cubierta desbrozada la que presenta un contenido de agua significativamente mayor a las labradas en el mes de marzo (Gráfico 2.12). Sin embargo, cuando la primavera es seca,

como sucede el sexto año, todas las cubiertas reducen su humedad significativamente de mayo a julio, acentuándose las diferencias en el perfil más superficial, con un contenido de humedad significativamente menor en las cubiertas de veza desbrozada en junio y julio.

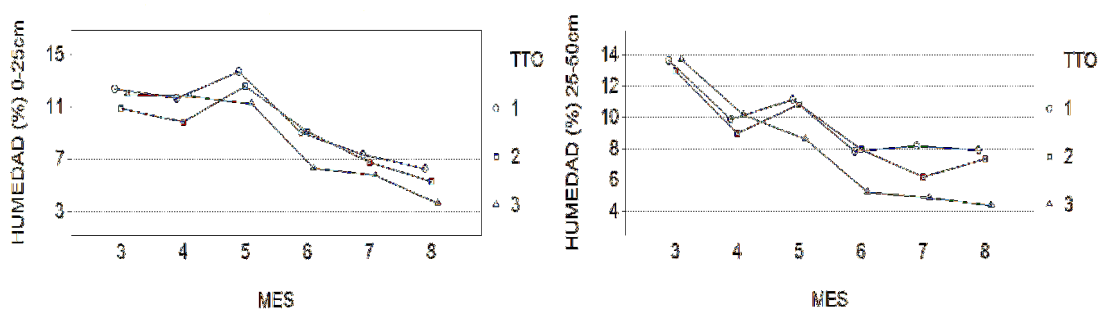
Gráfico 2.11 y 2.12. Humedad del suelo de 0 a 25 y de 25 a 50 centímetros para 2009



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Con el objetivo de analizar la humedad del suelo tras el segundo control de la cubierta (junio), los tres últimos años de ensayo se toman muestras en los meses de julio y agosto. El análisis conjunto de estos datos, en base a un diseño en Split-plot se encuentra representado en los Gráficos 2.13 y 2.14. Tras el segundo control (junio), las cubiertas desbrozadas presentan un suelo significativamente menos húmedo que las labradas en todo el perfil del suelo. Asimismo, en los meses de julio y agosto es la cubierta de veza y labrada la que mantiene una mayor humedad del suelo. En julio y agosto, la humedad en ambos perfiles es similar o inferior para el más profundo, ya que la ausencia de lluvias y las altas temperaturas, promueven la pérdida de humedad por procesos de evaporación desde los horizontes más profundos por capilaridad, conforme la capa superficial se va secando. El suelo que llega a los meses de verano con menor humedad en todo el perfil es el del tratamiento VS. Cuando la capa más superficial se seca, la reducción del agua en las capas más profundas se detiene (Singh, 1998), y la humedad se mantiene casi constante hasta final de verano (Joffre & Rambal, 1993). Esto sucede para los suelos con cubierta natural de forma más evidente de julio a agosto (Gráfico 2.8, 2.12 y 2.14).

Gráficos 2.13 y 2.14. Evolución de la interacción tratamiento*mes los tres últimos años de ensayo a dos profundidades distintas.

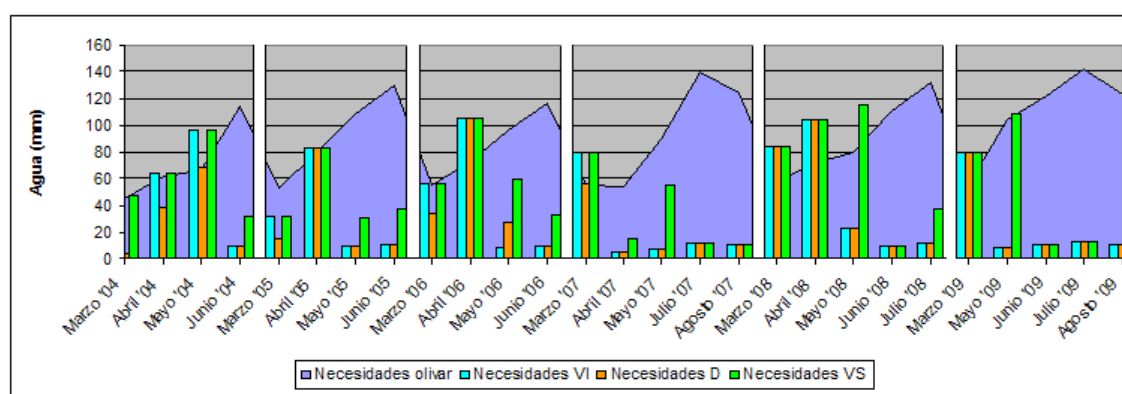


Tratamiento (TTO) 1: cubierta de veza labrada; TTO 2: cubierta espontánea labrada; TTO 3: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$).

Los controles en abril y junio, ayudan a estabilizar la pérdida de humedad en el perfil más profundo, siempre que la primavera sea lo suficientemente húmeda. Así como la reducción de agua en el tratamiento VS entre controles es debida a la presencia de una abundante cubierta

verde, en el caso de las cubiertas labradas, ya en mayo, una parte importante del agua sale por evaporación directa desde el suelo. En ambos casos se debe sumar el consumo de agua del olivo y de la fauna del suelo. Tras el segundo control, la cubierta se seca, y se eliminan las salidas por evapotranspiración. Por ello, en el perfil más superficial, tras el segundo desbrozado se advierte una cierta estabilización en la pérdida de agua, esto es debido a la presencia de acolchado que reduce la evaporación directa de agua desde el suelo, cosa que no sucede en los suelos labrados. Sin embargo en profundidad, de 25 a 50 centímetros, a partir del segundo control, la humedad disminuye por igual en todos los tratamientos lo que está relacionado de forma más estrecha con el consumo de agua del olivo, cuyas necesidades hídricas se incrementan hasta el mes de julio, para reducirse en agosto (Figura 2.6).

Figura 2.6. Evapotranspiración del cultivo y de las cubiertas ensayadas de 2004 a 2009 (VI: veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: veza desbrozada).



Fuente: Elaboración propia

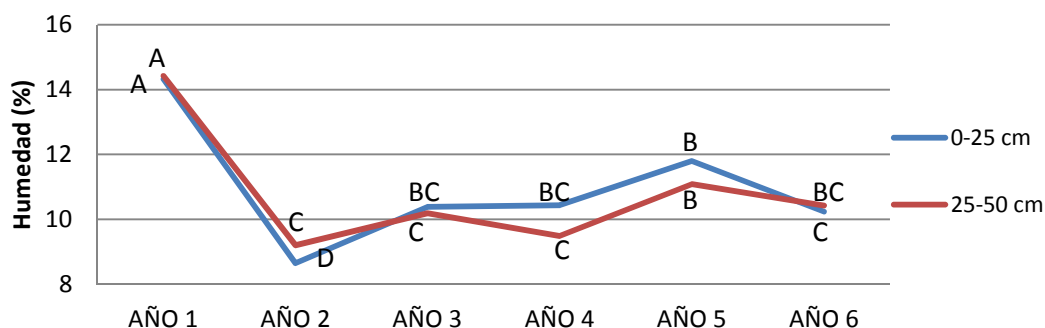
El manejo sostenible del agua pone énfasis en la reducción de la evaporación así como en mantener mayor humedad para la evapotranspiración y los procesos relacionados con el crecimiento y desarrollo de la planta cultivada (Gliessman, 2002). El control de la cubierta permite reducir el agua perdida por evapotranspiración en momentos estratégicos, permitiendo la conservación de la humedad edáfica que queda a disposición del olivar. Asimismo, esto implica que el momento en que la cubierta tiene una mayor evapotranspiración, de mediados de abril a mediados de junio (Singh *et al.*, 1998), y a la vez una mayor demanda de agua, no coincida con el momento de mayores necesidades del cultivo del olivar (Figura 2.6). La estación de crecimiento de las cubiertas herbáceas finaliza en el mes de junio-julio, así que las salidas de agua del sistema en los meses de julio y agosto, se deben casi en su totalidad a la transpiración de los árboles (Joffre *et al.*, 1987). Las necesidades del olivar se disparan a partir del mes de abril-mayo (Figura 2.6), por lo que, previamente a ese periodo se debe eliminar la cubierta del suelo, y permitir así, que la humedad restante quede a disposición del cultivo.

ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS DATOS DE HUMEDAD POR AÑO Y POR MES DE MUESTREO

A continuación se contrasta la hipótesis nula de que no existen diferencias entre años, meses y su interacción con el tratamiento para toda la serie de estudio (2003-2009). Para proceder de este modo se han normalizado los datos, recogiendo sólo los valores de humedad registrados de marzo a junio, y se ha comprobado la homogeneidad de las varianzas entre los

experimentos individuales (mes o año). Cuando se analizan los datos para la serie de años de estudio en un diseño en Split-plot, aparecen diferencias significativas entre años (Gráfico 2.15).

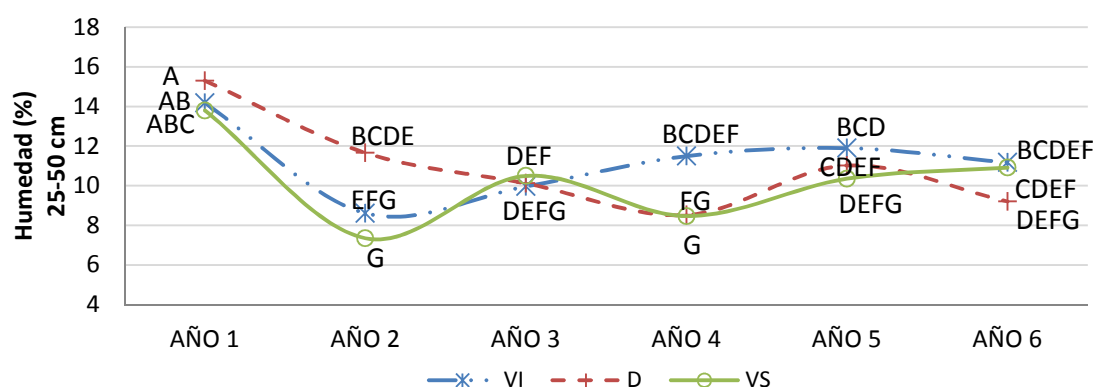
Gráfico 2.15. Evolución de la humedad del suelo a través de los seis años de estudio a dos profundidades distintas.



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.) para cada serie independientemente.

Los años más secos (2 y 4) son los que presentan mayores diferencias en la humedad contenida entre las distintas profundidades. De este modo, cuando se analiza la evolución de la interacción tratamiento*año, su efecto es significativo en todo el perfil el cuarto año de ensayo, cuando la cubierta desbrozada presenta una menor humedad frente a la cubierta de veza labrada (Gráfico 2.16). En el perfil más profundo también se presentan diferencias entre tratamientos el segundo año de ensayo, cuando la cubierta desbrozada contiene significativamente menos humedad frente a la espontánea. El segundo y cuarto año presentan un otoño, invierno y primavera secos.

Gráfico 2.16. Evolución de la humedad del suelo de 2004 a 2009 de 25 a 50 centímetros.

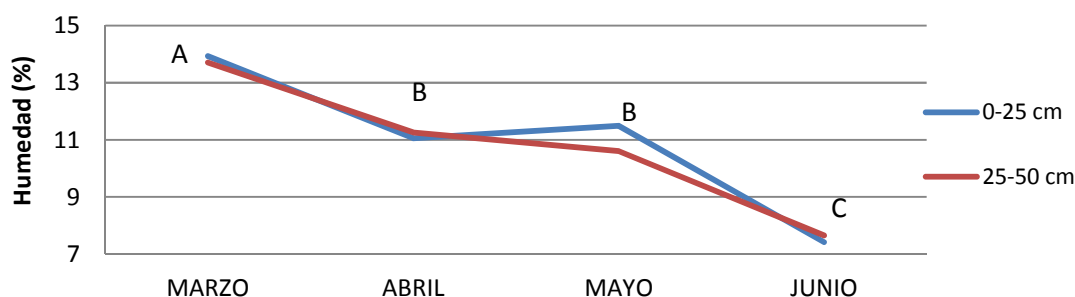


ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada.

Si el mismo análisis en Split-plot se realiza para la serie de meses muestreados aparecen diferencias significativas tanto para los meses de muestreo en todo el perfil (Gráfico 2.17) como para la interacción tratamiento*mes (Gráfico 2.18) en el perfil superficial. El mes con una humedad significativamente mayor es el de marzo, seguido por los meses de abril y mayo con valores de humedad menores, y con una humedad significativamente inferior el mes de junio.

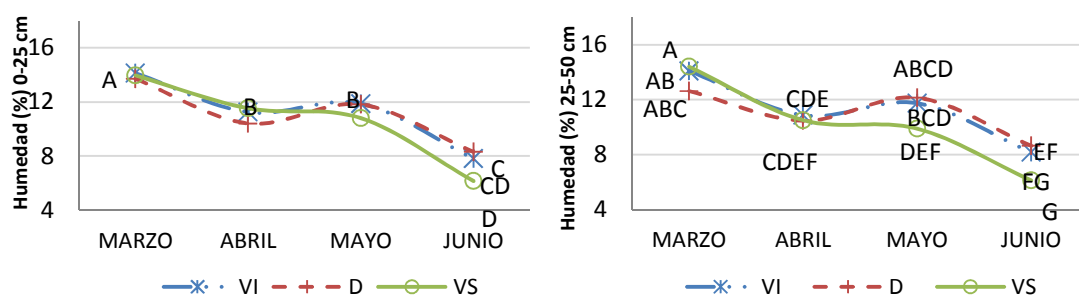
Asimismo, es en el mes de junio cuando el tratamiento VS contiene una significativa menor humedad en el suelo frente a la cubierta espontánea en todo el perfil de suelo muestreado (Gráfico 2.18 y 2.19).

Gráfico 2.17. Evolución de la humedad del suelo por mes de estudio de 2004 a 2009 a dos profundidades distintas.



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 2.18 y 2.19. Evolución de la humedad del suelo de 2004 a 2009 de 0 a 50 centímetros



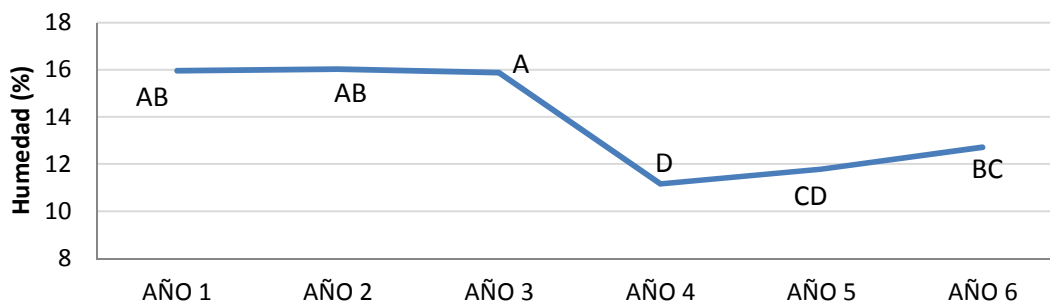
VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

En base a la evolución mensual de la humedad en el suelo, se puede dividir el tiempo de muestreo en dos periodos, antes y después de que las cubiertas labradas contengan más humedad que la cubierta segada. Según estos gráficos, la cubierta desbrozada debería eliminarse durante la primera quincena de abril, momento a partir del cual, reduce su humedad en profundidad frente a las cubiertas labradas (Gráfico 2.19). Este momento se retrasa en el perfil más superficial, reduciéndose la humedad de VS respecto a las labradas tras el primer control de las cubiertas. Este hecho significaría que el momento de eliminación durante el ensayo ha sido un poco tardío.

La humedad en el mes de marzo para todos los tratamientos, es reflejo de las sequías desde el segundo al quinto año, que han influido en la reducción progresiva de agua del suelo a través de los seis años de ensayo (Gráfico 2.20). Los tres últimos años partimos de un nivel de agua menor a la salida del invierno que los tres primeros con valores significativamente menores de humedad en marzo del cuarto y quinto año. Los tres primeros años el porcentaje de lluvia caída entre septiembre y marzo varió entre el 60 y el 66% de la precipitación del año agrícola. Sin embargo, para 2007 y 2008 este porcentaje disminuyó hasta el 50% y en 2009 ascendió hasta el 73%. El caso del segundo año, con escasas precipitaciones, muestra una humedad elevada en el mes de marzo, esto se debe a que ese invierno, la escasa precipitación ocurrida lo hace en forma

de nieve hasta el mes de marzo; la capacidad de infiltración de agua en el suelo procedente de la nieve es mucho mayor ya que sucede de forma lenta, empapando el suelo. Los otoños-inviernos secos limitan la cantidad de agua almacenada en el suelo en marzo.

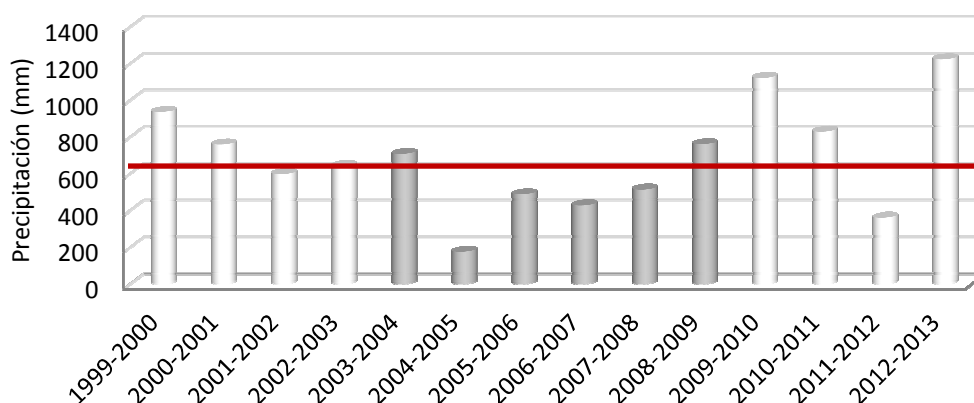
Gráfico 2.20. Humedad en el suelo de 25 a 50 centímetros en el mes de marzo (2004 a 2009).



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Durante el estudio, suceden periodos de sequía no estivales (Figura 2.2), como los años con sequías invernales (marzo) como el cuarto y quinto año, y primaverales (abril y mayo) como el segundo, tercer y sexto año. Además, también se encuentran los periodos secos que quedan fuera del espacio de muestreo, de septiembre a febrero (Figura 2.2). El 60% de los meses muestreados se encuentran en situación de sequía, el 25% corresponde a los meses de marzo, abril o mayo, y el 7% se corresponden con el mes de marzo a la salida del invierno, cuando se inicia el muestreo anual. Asimismo, el muestreo de marzo del sexto año se hizo retrasado frente a los muestreos de los años anteriores, la tercera semana de marzo en vez de la primera.

Gráfico 2.21. Precipitación registrada en la Estación Meteorológica de Iznalloz de 1999 a 2013. Línea horizontal: media de precipitación de los 14 años. Años de estudio: 2004-2009.

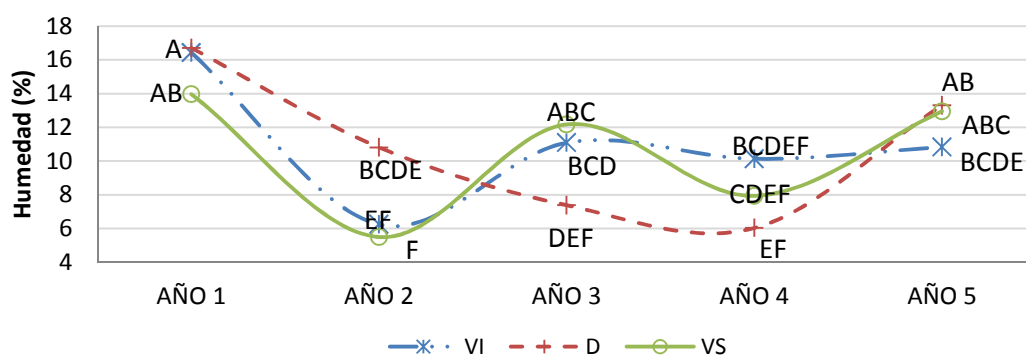


El patrón de reducción del agua del suelo durante las primaveras de estudio del primer al sexto año, se debe principalmente a las condiciones climáticas, y luego a la naturaleza de las cubiertas y tipo de manejo. Según el Gráfico 2.21, la serie de años de estudio (2004-2009) se enmarca en una serie mayor de 14 años, cuya precipitación media es de 614 mm (línea horizontal). A pesar de que la media para los años de estudio es de 500 mm, durante los años de 2004 a 2008 este valor se reduce hasta los 400mm. No es de extrañar que tras una serie de años húmedos con precipitación por encima de la media, la serie de estudio con la acumulación de lluvias por debajo de la media, muestre una reducción general del agua

contenida en el suelo durante todo el año, que se acentúa desde otoño de 2004 hasta la primavera de 2008, cuando se suceden cuatro primaveras secas, y tres otoños-inviernos secos también, lo que implica una inercia a la desecación del suelo, que más tarde conlleva una ralentización de su capacidad de humectación hasta que la inercia se invierte en 2008.

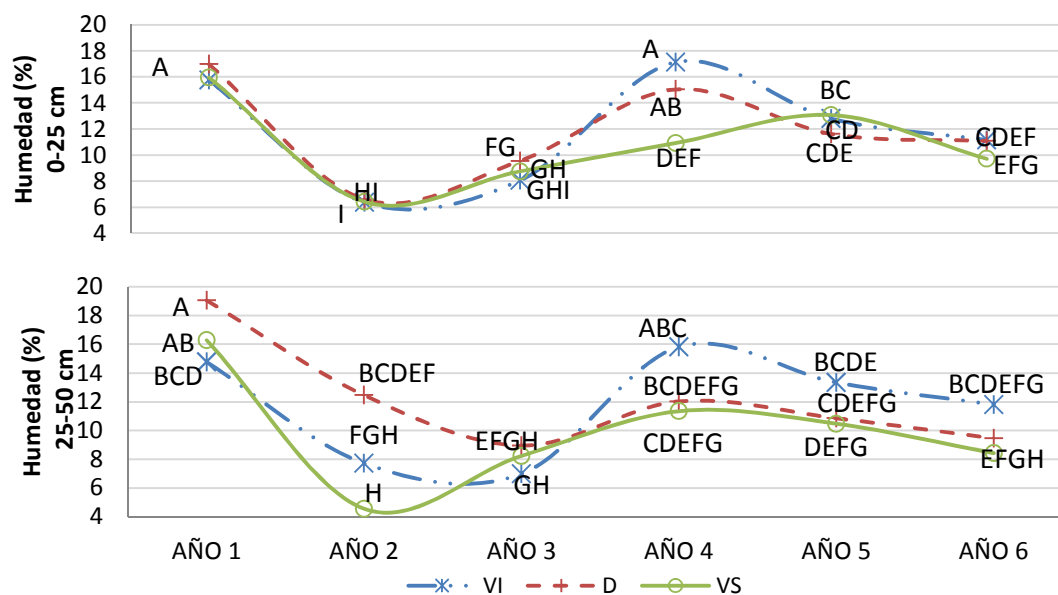
El mes de abril del segundo año, el más seco, el suelo de la cubierta natural toma ventaja significativa frente a las sembradas (Gráfico 2.22). El resto de años, con precipitaciones a final de invierno, permiten que sean las cubiertas sembradas las que contienen más agua en profundidad, con valores significativamente mayores en el tratamiento VS el tercer año frente a las cubiertas espontáneas en todo el perfil. Sin embargo, el quinto año, con una primavera húmeda, la cubierta que queda ligeramente por debajo es la de veza labrada, debido a la floración e inicio de la fructificación de la veza.

Gráfico 2.22. Evolución de la humedad del suelo de 25 a 50 cm para el mes de abril ('04-'09).



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada.

Gráficos 2.23 y 2.24. Evolución de la humedad del suelo de 0 a 50 cm en el mes de mayo ('04-'09).

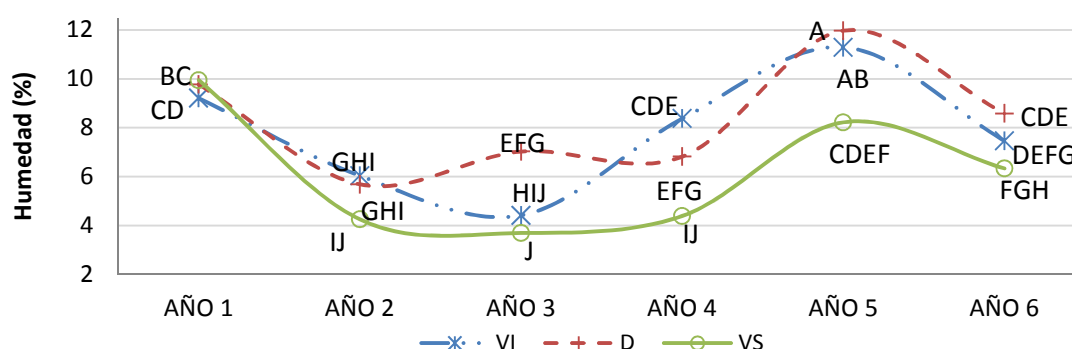


(VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada). ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Mientras que en el mes de abril, en el análisis en Split-plot no resulta significativo ni el tratamiento ni su interacción con el año de muestreo, para el mes de mayo la interacción es altamente significativa. Tras el primer control de la cubierta, en el mes de mayo, la humedad de la capa más superficial del suelo se iguala para todos los tratamientos, excepto el cuarto año, cuando en el tratamiento VS debido a la mayor densidad de individuos por metro cuadrado se produce una reducción significativa de su humedad en la zona radicular (Gráfico 2.23). En el horizonte más profundo, las diferencias entre tratamientos se acentúan, pero excepto para el año más seco, el segundo cuando la cubierta desbrozada contiene una significativa menor humedad, en el resto no aparecen diferencias entre tratamientos (Gráfico 2.24). Aunque tras el primer control, los suelos que guardan una mayor humedad son los de las cubiertas labradas, es la cubierta de veza labrada la que se mantiene con valores superiores durante la segunda mitad del ensayo.

En las condiciones climáticas del estudio, la lluvia de otoño debería recargar el suelo de agua llevándolo cerca de la capacidad de campo, y mantenerse constante la humedad hasta la salida del invierno, para luego decrecer hasta junio-julio, permaneciendo casi constante durante el verano (Joffre & Rambal, 1993). En el olivar del ensayo, en el mes de junio, se inicia el periodo de sequía estival. La cubierta desbrozada es la que presenta un suelo con valores de humedad significativamente menores frente a las labradas del tercer al sexto año de estudio (Gráfico 2.25).

Gráfico 2.25. Evolución de la humedad del suelo de 25 a 50 cm para el mes de junio ('04-'09).



ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada.

Los años en que la humedad del suelo en el mes de junio es mayor (primero y quinto), coincide con los años en que llueven en torno a los 200mm los meses anteriores, abril y mayo, y el segundo control se ha realizado más temprano, la primera semana de junio. Sin embargo, la cubierta desbrozada sigue presentando menor humedad que las labradas en el mes de junio aún el desbroce temprano. Al entrar el verano, en los meses de julio y agosto, la humedad del suelo alcanza sus valores mínimos y se estabiliza la pérdida de agua, sin embargo, aquellos tratamientos que salieron de la primavera con mayor humedad, también son los que en los meses de julio y agosto presentan mayor humedad. De esto se desprende la importancia de conservar el máximo de agua posible antes de la entrada del verano.

ANÁLISIS DE LOS DATOS DE HUMEDAD POR GRUPOS DE AÑOS

El análisis de los datos a través de un modelo de medidas repetidas en el tiempo es una herramienta potente, que gana en precisión, en este caso, cuando se utiliza agrupando los años en paquetes más pequeños en relación a su similitud, lo que permite detectar tendencias diferenciales que no aparecen en el análisis global. Tras haber comprobado que las varianzas de todos los años de ensayo son homogéneas, se realiza el análisis en Split-split-plot (Anexo 2.A). Esto sucede para los datos tomados en el perfil más superficial, porque en el perfil más profundo, no se cumple la homogeneidad de las varianzas más que para un grupo de años.

Análisis conjunto de 2004 a 2009 de 0 a 25 centímetros de profundidad

Cuando se analizan los datos de humedad de los seis años de la serie, no aparecen diferencias significativas en la humedad por tratamiento (Tabla 2.6). Sin embargo, esta disposición de los datos revela que la interacción tratamiento*mes es altamente significativa (Tabla 2.7), al igual que la interacción tratamiento*año (Gráfico 2.26) y mes*fecha (Tabla 2.8).

Tabla 2.6. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de muestreo.

TRATAMIENTO	HUMEDAD	MES	HUMEDAD	AÑO	HUMEDAD
VI	11,262 A	MARZO	13,936 A	'03-'04	14,326 A
D	11,056 A	MAYO	11,495 B	'07-'08	11,805 B
VS	10,608 A	ABRIL	11,060 B	'06-'07	10,441 C
		JUNIO	7,411 C	'05-'06	10,387 C
				'08-'09	10,241 C
				'04-'05	8,651 D

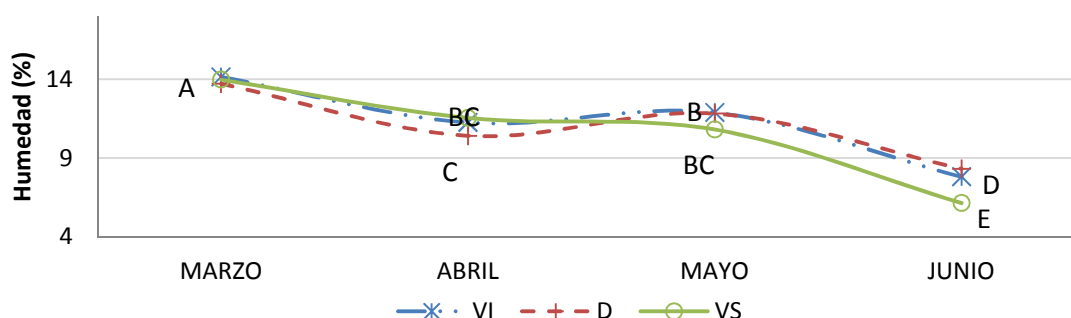
VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 2.7. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes

	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	14,139 A	11,241 BC	11,874 B	7,793 D
D	13,705 A	10,406 C	11,810 B	8,304 D
VS	13,963 A	11,532 BC	10,801 BC	6,135 E

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 2.26. Evolución de la humedad del suelo de 2004 a 2009 de marzo a junio según el tratamiento ensayado.



ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada.

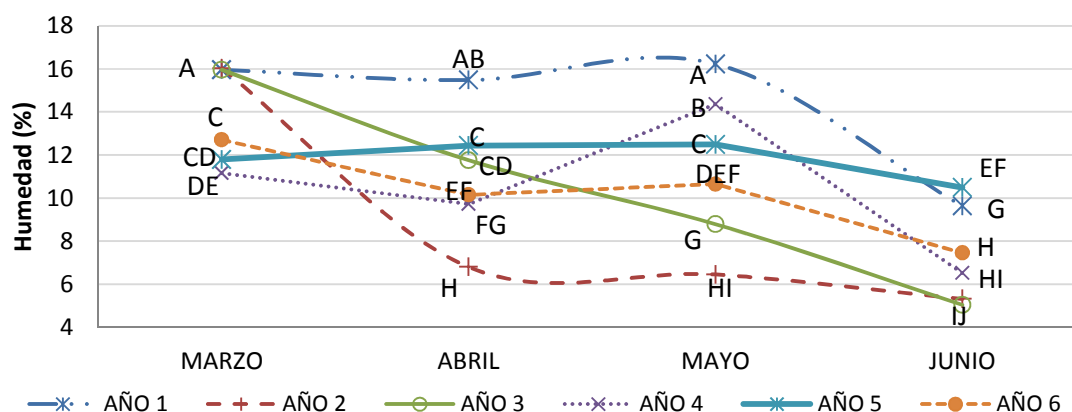
La Tabla 2.7 muestra los valores medios de humedad para la interacción tratamiento*mes, que aporta información sobre el momento del año en que empieza a diferenciarse el comportamiento de cada tratamiento como respuesta al manejo diferencial. Tal como se puede ver en el Gráfico 2.26 y la Tabla 2.7, en el mes de marzo el suelo presenta significativamente mayor humedad que el resto de meses, debido a la recarga invernal. En cambio, cuando empieza a ser protagonista la evapotranspiración de las cubiertas (abril), el agua del suelo disminuye significativamente. En abril, la cubierta natural presenta un contenido de humedad menor al de las cubiertas sembradas pero no significativo. La eliminación de la cubierta a final de abril permite estabilizar la humedad hasta el mes de mayo. Entre los dos controles (abril y junio) es cuando la cubierta segada pasa a contener menos humedad que las labradas. Tras el primer control de la cubierta, y a partir del mes de mayo, las cubiertas desbrozadas se ven penalizadas por el rebrote de la hierba y una mayor evapotranspiración frente a las cubiertas labradas. Sin embargo, las cubiertas labradas evaporan agua desde el suelo descubierto, y en menor proporción sale agua por transpiración, debido a la nascencia de la cubierta estival, que se mantiene cubriendo un 20-40% del suelo. Esta situación diferencial entre desbroce y laboreo, se acentúa en el mes de junio, siendo el tratamiento VS el que entra en el verano con un contenido significativamente menor de humedad. En el análisis de la interacción tratamiento*mes para toda la serie de años, la mayor diferencia significativa en la humedad contenida según el tratamiento, se encuentra en el mes de junio con desventaja para la cubierta segada. En la Tabla 2.8 destaca la coincidencia de los periodos de sequía (Figura 2.2) con los valores significativamente menores de humedad en las casillas sombreadas. En el mes de junio suceden las mayores diferencias en el contenido de agua en el suelo para toda la serie de estudio, ya que se inicia el periodo de sequía anual.

Tabla 2.8. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción mes*año

	'03-'04	'04-'05	'05-'06	'06-'07	'07-'08	'08-'09
MARZO	15,961 A	16,031 A	15,957 A	11,165DE	11,793CD	12,707 C
ABRIL	15,479AB	6,801 H	11,762CD	9,721FG	12,441 C	10,154EF
MAYO	16,227 A	6,454 HI	8,789 G	14,358 B	12,494 C	10,648DEF
JUNIO	9,638FG	5,317 IJ	5,04 J	6,52 HI	10,493EF	7,455 H

ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 2.27. Evolución del contenido de humedad del suelo de marzo a junio para cada uno de los años de ensayo de 0 a 25 centímetros de profundidad.



El Gráfico 2.27, muestra un patrón semejante en la evolución de humedad entre los tres últimos años, mientras que los tres primeros muestran situaciones extremas que parten de un punto común, esto es, la mayor humedad en el suelo a la salida del invierno, en el mes de marzo, en comparación a los tres últimos años de la serie.

El análisis conjunto de los datos no permite detectar diferencias entre tratamientos, ya que el efecto sobre la humedad se ve enmascarado por el efecto del año y del mes del año, responsables de la mayor variabilidad de los datos. Por este motivo, en el siguiente apartado se disponen los datos en paquetes más pequeños, agrupando los años con similares varianzas. Al reducir la variabilidad interanual de los datos emergen diferencias entre los tratamientos.

Análisis conjunto de 2006 a 2009 de 0 a 25 centímetros de profundidad

Al agrupar los datos de los tres últimos años de ensayo, caracterizados por la menor humedad del suelo a la salida del invierno, aparecen diferencias entre tratamientos, meses y años.

Tabla 2.9. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de muestreo de 2006 a 2009.

TRATAMIENTO	HUMEDAD	MES	HUMEDAD	AÑO	Humedad
VI	11,640 A	MAYO	12,500 A	'06-'07	10,441 B
D	10,643AB	MARZO	11,888 B	'07-'08	11,805 A
VS	10,204 B	ABRIL	10,772 C	'08-'09	10,241 B
		JUNIO	8,156 D		

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El tratamiento que permite conservar una significativa mayor humedad en el suelo es el sembrado de veza incorporada en superficie, frente a la cubierta de veza desbrozada. El otoño-invierno seco conlleva que en el mes de marzo el suelo contenga una significativa menor humedad que en mayo cuando se registran los máximos valores. En tercera posición se encuentra el mes de abril seguido de junio. En relación a los años, aunque el sexto año llueve más, el quinto es el que presenta el suelo significativamente más húmedo, esto es por una mejor distribución de las lluvias y una primavera húmeda. Sin embargo, al analizar la interacción tratamiento*mes, también significativa, se advierte que las diferencias de humedad entre los tratamientos VI y VS comienzan en el mes de mayo, cuando la cubierta desbrozada presenta una humedad del suelo significativamente menor, al igual que sucede en junio, cuando además es el suelo de las cubiertas labradas el que contiene una humedad significativamente mayor (Tabla 2.10 y Gráfico 2.28).

Tabla 2.10. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes ('06-'09).

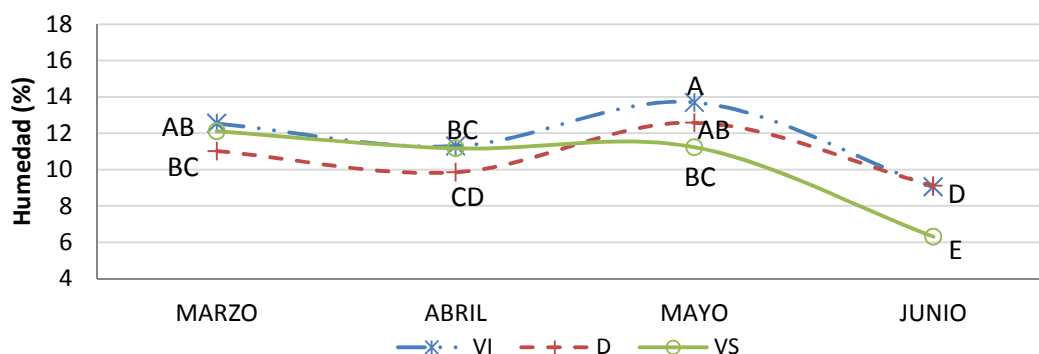
	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	12,536 AB	11,294 BC	13,691 A	9,039 D
D	11,021 BC	9,854 CD	12,577 AB	9,12 D
VS	12,107 AB	11,168 BC	11,232 BC	6,309 E

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Se puede observar en la Tabla 2.10 y en el Gráfico 2.28, que el patrón de la evolución del agua según el tratamiento ensayado para 2006-2009, difiere del encontrado para el análisis de los

seis años de forma conjunta, en la humedad contenida en el mes de mayo y en las mayores diferencias de humedad que presenta el suelo entre cubiertas sembradas y espontáneas en los meses de marzo y abril, con desventaja para la cubierta espontánea.

Gráfico 2.28. Evolución de la humedad del suelo de marzo a junio según el tratamiento ensayado de 2006 a 2009.



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Análisis conjunto de 2006 a 2008 de 0 a 25 centímetros de profundidad

Las Tablas 2.11 y 2.12, correspondientes a las salidas del análisis de la varianza para los datos de humedad del cuarto y quinto año, nos indican que el efecto del tratamiento es significativo, y el efecto del mes también, así como la interacción entre ambos, estando por tanto, las diferencias entre tratamientos sujetas a la época del año. La característica común de estos dos años de ensayo es la subsequia que sucede en diciembre-enero, la sequía del mes de marzo, la precipitación de septiembre a febrero en torno a los 260 mm, y el periodo más lluvioso en los meses de abril y mayo. Para estos años, el mes en el que el suelo presenta mayor humedad es el de mayo, mientras que el mes de junio presenta una humedad significativamente menor.

Tabla 2.11. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años (2006 a 2008).

TRATAMIENTO	HUMEDAD	MES	HUMEDAD
VI	12,144 A	MAYO	13,426 A
D	10,80 AB	MARZO	11,479 B
VS	10,426 B	ABRIL	11,081 B
		JUNIO	8,507 C

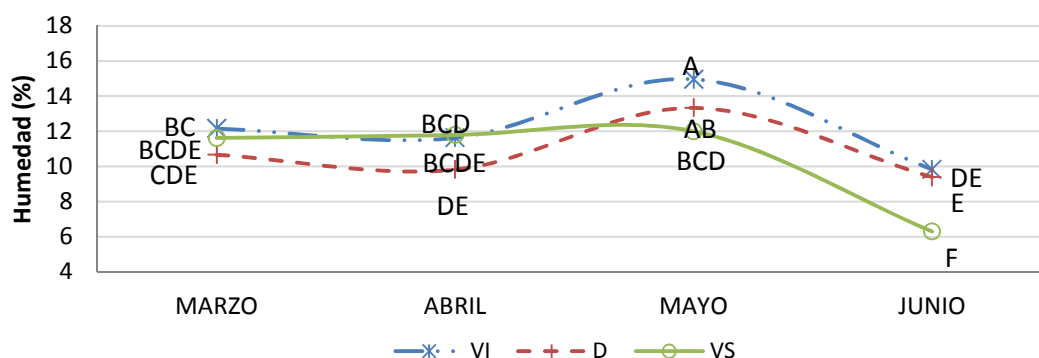
VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas.

Tabla 2.12. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes ('06-'08).

	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	12,159 BC	11,628 BCDE	14,959 A	9,830 DE
D	10,663 CDE	9,820 DE	13,326 AB	9,390 E
VS	11,615 BCDE	11,795 BCD	11,994 BCD	6,300 F

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 2.29. Evolución de la humedad del suelo de marzo a junio según tratamiento (2006- 2008)



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Bajo estas condiciones climáticas, y tras tres años de manejo diferencial del suelo, se observa para el mes de marzo y abril una mayor recarga del perfil más superficial para las cubiertas sembradas, aunque estas diferencias frente a la espontánea no son significativas (Gráfico 2.29). A partir del primer control de la cubierta, y durante el mes de mayo, la cubierta que muestra una humedad significativamente mayor es la sembrada de veza e incorporada en superficie, frente a la desbrozada que no logra aumentar su contenido de humedad. En mayo con lluvias entre 55 y 80 mm, para el cuarto y quinto año respectivamente, la hierba en el tratamiento VS vuelve a crecer tras el desbroce, representando un porcentaje significativo de la biomasa aportada por la cubierta invernal-primaveral, manteniéndose constante la reserva de agua del suelo. Cuando cesan las lluvias, entre el primer y segundo control, el rebrote de la cubierta en el tratamiento con siega hace que ésta presente una humedad significativamente menor a la de las cubiertas labradas, que contienen de media un 3,5% más de humedad en el mes de junio. La cantidad, calidad y posición de los residuos vegetales tras la labor de control, deben influir en la capacidad de infiltrar agua por parte del suelo y retenerla luego. La compactación del suelo debida a los pases sucesivos de maquinaria, sobre todo si la labor se realiza con el suelo demasiado húmedo, reduce la capacidad de infiltración del mismo. Esta situación sucede el cuarto año, cuando a final de abril lloven 100 mm en cuatro días y cinco días después se elimina la cubierta, lo que dificultaría la infiltración de agua de las lluvias a principio de mayo. Sin embargo, dado que el muestreo del agua se realiza 10 días después de la lluvia de 100 mm y tras 7 meses secos en los que ha llovido sólo 270 mm, la teoría más plausible es que la mayoría del agua caída es consumida rápidamente por la vegetación, y que la rápida eliminación contribuye también a aumentar los procesos de evaporación directa desde el suelo así como la rápida mineralización de los residuos, sobre todo en las cubiertas labradas, lo que impide que la precipitación se refleje como humedad en el suelo.

Análisis conjunto de 2006 a 2009 de 25 a 50 centímetros de profundidad

Para los datos de humedad en el perfil más profundo, la mayor variabilidad entre muestras, hace que no se puedan analizar de forma combinada los datos correspondientes a los seis años de estudio. Por este motivo, el análisis se basa en los datos recogidos de 2006 a 2009, que sí cumplen los supuestos de homogeneidad de las varianzas, pudiéndose analizar mediante un diseño en Split-split-plot. Las posibles combinaciones de grupos de años se ven limitadas para esta profundidad, impidiendo el análisis de los mismos grupos de años que se estudiaron para

el perfil más superficial, por lo que se le añade el análisis de la interacción tratamiento*mes del perfil superficial para comparar la evolución diferencial para ambas profundidades.

Tabla 2.13. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos, meses y años de muestreo (2005 a 2009).

TRATAMIENTO	HUMEDAD	MES	HUMEDAD	AÑO	HUMEDAD
VI	11,129 A	MARZO	12,804 A	'07-'08	11,089 A
D	9,715 A	MAYO	10,645 B	'08-'09	10,428 AB
VS	10,056 A	ABRIL	10,114 B	'05-'06	10,188 AB
		JUNIO	7,637 C	'06-'07	9,494 B

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El análisis de los datos de agua en profundidad, no revela diferencias entre tratamientos para los cuatro últimos años del ensayo (Tabla 2.13), sin embargo sí resulta significativo el efecto del factor mes, de la interacción tratamiento*mes, del año y del año*mes. Aparece el mismo patrón de evolución mensual del agua que en el perfil más superficial, siendo el mes de marzo, el que de forma general contiene significativamente más agua en esta serie de años, en relación a los meses de abril y mayo, en los que la humedad se mantiene más o menos estable, hasta el mes de junio, que presenta significativamente menos agua (Tabla 2.13). Por otro lado, la interacción tratamiento*mes es altamente significativa, sobre todo en el perfil más superficial (Tabla 2.14), revelando diferencias en abril, mayo y junio. La evolución en el tiempo de esta interacción está representada en los Gráficos 2.30 y 2.31, donde se observa de forma general, un mismo patrón de reducción de agua en los dos perfiles de suelo muestreado. De todos modos, a mayor profundidad las diferencias se acentúan para la humedad contenida a la salida del invierno, presentando la cubierta desbrozada una humedad media un 2,8% superior a la de los suelos con cubierta de adventicias aunque sin diferencias estadísticas.

Tabla 2.14. Diferencias en la humedad contenida en el suelo (%) para la interacción tratamiento*mes a distintas profundidades (2005 a 2009).

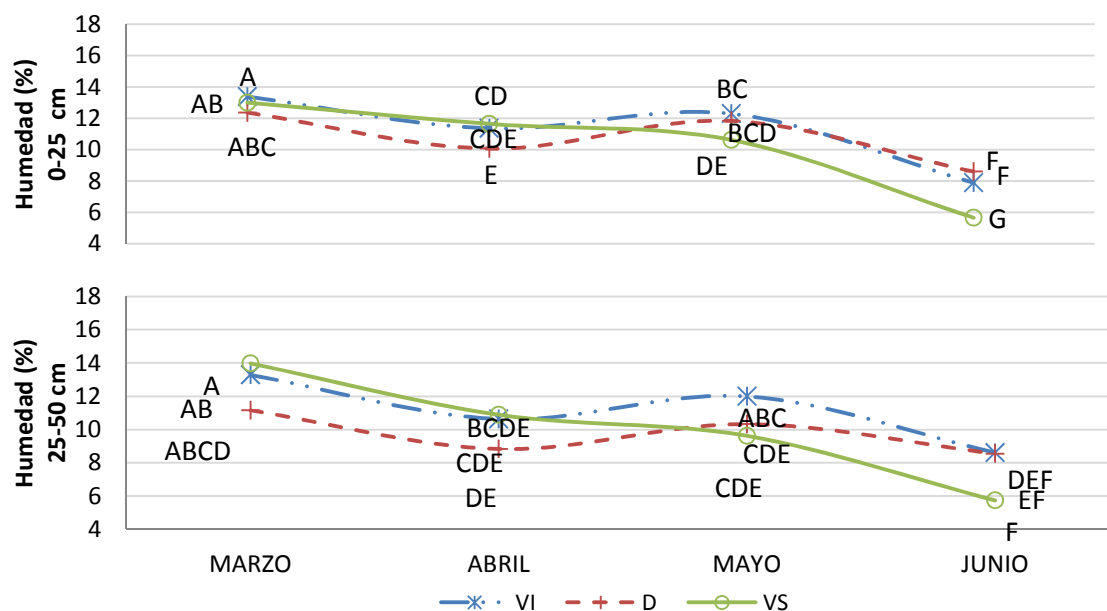
25 a 50 cm	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	13,282 AB	10,629 CDE	11,991 ABC	8,612 DEF
D	11,151 ABCD	8,827 DE	10,324 CDE	8,55 EF
VS	13,978 A	10,887 BCDE	9,621 CDE	5,74 F
0 a 25 cm	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	13,376 A	11,356 CDE	12,283 BC	7,882 F
D	12,353 ABC	10,062 E	11,823 BCD	8,595 F
VS	12,987 AB	11,641 CD	10,612 DE	5,654 G

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

De forma general, las cubiertas sembradas mantienen una mayor humedad en el suelo en el mes de abril, con valores significativamente mayores en el tratamiento VS frente a D en los primeros centímetros de suelo. El suelo desbrozado reduce su humedad por debajo de la de la cubierta natural durante la segunda quincena de abril. En el mes de mayo, tras el primer control, el suelo que almacena significativamente más agua es el sembrado de veza incorporada frente al desbrozado de 0 a 25 centímetros, ampliándose estas diferencias en el

mes de junio, cuando el tratamiento VS es el que muestra una humedad del suelo significativamente menor. De forma general, los valores de humedad más bajos se corresponden con aquellos meses y años en que sucede sequía (Figura 2.2), sombreados en la Tabla 2.15. La interacción mes*año es altamente significativa como se muestra en la Tabla 2.15.

Gráficos 2.30 y 2.31. Evolución de la humedad del suelo de 2005 a 2009 según el tratamiento y profundidad muestreada.



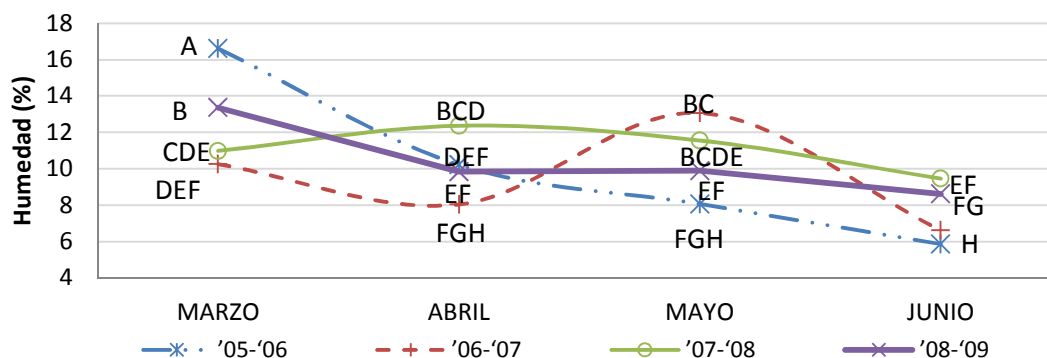
VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 2.15. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción mes*año.

	'05-'06	'06-'07	'07-'08	'08-'09
MARZO	16,617 A	10,254DEF	10,981CDE	13,362 B
ABRIL	10,217DEF	8,036FGH	12,364BCD	9,841EF
MAYO	8,061FGH	13,069 BC	11,556BCDE	9,894EF
JUNIO	5,856 H	6,618GH	9,457EF	8,615FG

ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 2.32. Evolución de la humedad del suelo de 25 a 50 cm de 2005 a 2009.



ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Excepto para el mes de marzo del tercer año (2005-2006), y el mes de abril del quinto año, el resto de valores de humedad medidos durante esta serie (2006-2009) en el perfil más profundo, se encuentran siempre por debajo del punto de marchitez permanente calculado (12%). Destacar que para el quinto y sexto año, la humedad en el perfil más profundo se mantiene más estable durante los meses de muestreo, que el tercer y cuarto año, cuando se da una mayor fluctuación (Gráfico 2.32).

Análisis conjunto de 2005 y 2008 de 25 a 50 centímetros de profundidad

El interés en agrupar estos dos años de ensayo, el tercero y el quinto, reside en que presentan periodos de sequía en abril y mayo para el tercer año, y en el mes de marzo para el quinto (Figura 2.2). Sin embargo presentan ambos una precipitación anual en torno a los 500 mm (Figura 2.4); asimismo, en marzo de 2006 y en abril de 2008 llueve suficiente para permitir cierta recarga primaveral, al igual que sucede entre los dos controles de la cubierta.

La salida del ANOVA en Split-split-plot refleja un significativo efecto del factor mes (Tabla 2.16), así como la interacción mes*año para el perfil más profundo del suelo. Al igual que en el análisis global, es el mes de marzo el que presenta una significativa mayor humedad del suelo, y junio el que toma los valores menores, estando abril y mayo en una posición intermedia. Para este grupo de años la interacción tratamiento*mes es más significativa en el perfil más superficial frente al profundo (Tabla 2.17). De este modo, toman ventaja las cubiertas desbrozadas en el mes de abril, con una humedad significativa mayor en el perfil más superficial frente a las espontáneas. Sin embargo, tras el primer control de la cubierta, en el mes de mayo, se produce un cambio de tendencia (Gráfico 2.30) que resulta, en el mes de junio en una humedad significativamente menor en el tratamiento desbrozado frente a los labrados. Hasta el segundo control, la cubierta desbrozada reduce el agua contenida en todo el perfil de forma significativa, siendo la cubierta natural la que entra en el verano con una humedad significativamente mayor en el suelo frente a las cubiertas desbrozadas para el perfil más superficial (Tabla 2.17 y Gráfico 2.30).

Tabla 2.16. Diferencias en la humedad del suelo (%) entre tratamientos y meses de muestreo (2005 a 2008).

TRATAMIENTO	HUMEDAD	MES	HUMEDAD
VI	10,925 A	MARZO	13,799 A
D	10,568 A	MAYO	11,29 B
VS	10,422 A	ABRIL	9,808 B
		JUNIO	7,657 C

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

La evolución de la humedad en el suelo para ambas profundidades es muy similar (Tabla 2.17 y Gráfico 2.30). Este patrón de pérdida de humedad continua pero sostenida denota una precipitación moderada bien repartida durante la primavera. Destaca la capacidad del perfil más superficial de la cubierta desbrozada para almacenar más agua al inicio de la primavera los años con precipitación de unos 100 mm entre marzo y abril.

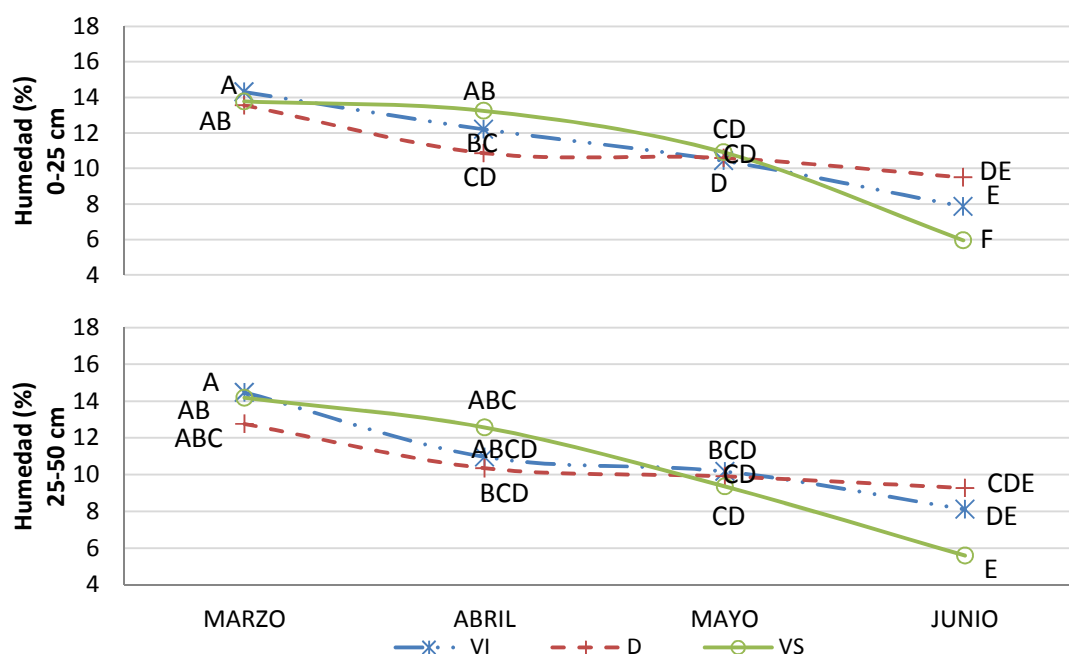
Tabla 2.17. Diferencias en la humedad del suelo (%) para la interacción tratamiento*mes a distintas profundidades (2005 y 2008).

0-25 cm	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	14,301 A	12,201 BC	10,426 D	7,851 E
D	13,554 AB	10,863 CD	10,588 CD	9,495 DE
VS	13,771 AB	13,241 AB	10,911 CD	5,954 F
25-50 cm	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
VI	14,47 A	10,96 ABCD	10,165 BCD	8,106 DE
D	12,752 ABC	10,348 BCD	9,907 CD	9,265 CDE
VS	14,176 AB	12,562 ABC	9,353 CD	5,598 E

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Por otro lado, la recarga invernal del suelo en el perfil más profundo muestra una ligera ventaja para las cubiertas sembradas al inicio del muestreo (Gráfico 2.34). En el mes de mayo, tras el primer control, el agua en el suelo para los tres tratamientos se iguala en todo el perfil del suelo (Tabla 2.17; Gráficos 2.33 y 2.34), y se inicia un periodo de mayor evapotranspiración que penaliza a la cubierta desbrozada en junio para todo el perfil. Las mayores diferencias se presentan en los meses de abril y junio, el distinto efecto del factor mes junto al tratamiento, refleja los distintos ritmos fenológicos de la cubierta y el tipo de control. En cambio para el perfil más profundo, aún estar más húmedas las cubiertas desbrozadas, no se dan diferencias claras entre tratamientos, esto es debido principalmente a que en este perfil no reside la biomasa radicular de la cubierta vegetal.

Gráfico 2.33 y 2.34. Evolución de la humedad del suelo de 2005 a 2008 según el tratamiento ensayado y a distinta profundidad.



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas.

RELACIÓN ENTRE LA HUMEDAD DEL SUELO Y OTRAS VARIABLES

Como se ha podido comprobar, la precipitación ocurrida y su distribución explica gran parte de la variación de la humedad en el suelo, por ello el efecto entre tratamientos a menudo es menos significativo que el efecto de su interacción con el año o mes de muestreo. Pero independientemente de la lluvia, para interpretar mejor la dinámica de la humedad del suelo en relación al manejo, se utiliza el procedimiento de correlaciones bivariadas y la regresión lineal entre la humedad y otras variables independientes medidas en el estudio, relacionadas con el suelo, la composición y estructura florística, etc. (Tabla 2.3).

CORRELACIÓN BIVARIADA

Las Tablas 2.18 y 2.19, resumen las salidas de las correlaciones entre la humedad del suelo y el resto de variables independientes de marzo hasta junio, así como su significación a dos niveles distintos. La correlación entre variables cambia su signo y su significación según se trate de años o periodos secos o húmedos. Aparecen coloreadas en las Tablas 2.18 y 2.19 aquellas variables cuya desviación está altamente correlacionada con la variación del contenido de humedad en el suelo. En azul aquellas correlaciones que indican una recarga del suelo, frente a las naranjas que indican una reducción de la humedad. Mientras que la pendiente, siempre guarda una correlación negativa con la humedad, hay otras variables, como las referidas a la biomasa, cobertura, densidad de plantas, o diversidad de las mismas, que no siempre guardan el mismo signo en su correlación con el agua, variando según el momento del año, y el tipo de año en que se estudie dicha relación.

Los años secos (Tablas 2.18 y 2.19) la mayoría de las variables se encuentran correlacionadas de forma muy débil y negativa con el agua del suelo, excepto para el índice de Shannon, la riqueza específica, el tamaño de arvenses y los días transcurridos desde la última lluvia antes del primer control de la cubierta, cuya relación es positiva. Sin embargo ninguna de las variables se correlaciona de forma significativa con la humedad para ninguno de los meses muestreados (marzo a junio), excepto para el tamaño de arvenses en marzo y abril, con una relación altamente significativa.

La variable índice de cobertura verde, muestra (excepto para los años secos) una relación positiva con la humedad aunque la correlación no es significativa para el mes de marzo. Los años húmedos, y durante los tres primeros años de ensayo, tras la recarga invernal del suelo, en el mes de abril, ésta ya mantiene una correlación negativa con el porcentaje de suelo cubierto. Esto indica que mientras la infiltración supera a la evapotranspiración, la cubierta vegetal del suelo asegura un mayor contenido de agua, mientras que, cuando el movimiento principal del agua sucede a través de la evapotranspiración y se reducen las entradas, la cobertura vegetal promueve la reducción de la misma. Tras el primer control de la cubierta, en el mes de mayo para las series de años húmedos, el mayor porcentaje de suelo cubierto proporciona un mayor almacenaje y conservación del agua. Para el mes de junio, la cubierta total se relaciona negativamente con la humedad superficial antes del segundo control, excepto los tres últimos años, cuando se incrementa la precipitación entre controles y también resulta negativa la correlación con la cubierta viva.

Por otro lado, la densidad de plantas, crece a medida que crece la humedad del suelo para los meses de marzo (excepto los secos), siendo esta correlación significativa para los años húmedos y la primera mitad del ensayo en el perfil más superficial. Este hecho indica que la mayor infiltración de agua en el suelo a la salida del invierno se logra con una cobertura densa. A partir del mes de abril, cuando prima la evapotranspiración de las plantas y éstas crecen en altura y acumulan materia seca, la correlación con la densidad de plantas se torna negativa. La biomasa fresca y seca en abril, está correlacionada de forma positiva con la humedad del suelo antes del primer control, y de forma negativa con la humedad del suelo antes del segundo en las primaveras cálidas. La producción de más materia fresca está correlacionada positivamente con un mayor contenido de humedad, de forma significativa para los años húmedos. La materia fresca y la materia seca aumentan conforme lo hace la humedad para todo el perfil los años húmedos, siendo esta relación positiva y significativa para el conjunto de los años de ensayo en el mes de abril. Para el agua contenida en profundidad, la correlación es positiva y significativa entre ésta y la materia fresca en el mes de abril cuando se analizan todos los años de forma conjunta. La materia seca en el mes de junio para los años secos, se encuentra relacionada significativamente y de forma positiva con la humedad del suelo en profundidad.

La densidad aparente siempre mantiene una relación negativa con el agua del suelo, más significativa en abril, cuando su aumento limita la entrada de agua y su almacenamiento en superficie. Por otro lado, para el perfil profundo, la densidad aparente toma protagonismo en el mes de abril, y se relaciona con un menor contenido de humedad en profundidad a medida que se compacta el perfil superficial. La menor porosidad del suelo debida a la mayor densidad del mismo, limita el almacenamiento del agua en el perfil profundo. En cuanto a la biomasa de veza sembrada, ésta no guarda apenas relación con la humedad en el perfil más superficial sobre todo para los últimos tres años de ensayo. En cambio, para el agua contenida en profundidad aparece una correlación altamente significativa para los años húmedos y la primera parte del ensayo en abril. Conforme aumenta la cantidad de materia fresca y seca de veza, también es mayor la cantidad de agua presente en el perfil más profundo del suelo.

El índice de Shannon y la riqueza específica guardan una mayor correlación con la humedad en el perfil más superficial, conforme aumenta la diversidad vegetal menos agua contiene todo el perfil del suelo en abril. La materia orgánica presenta alta correlación positiva con la humedad del suelo en todo el perfil, sobre todo para los meses de abril y junio en los años húmedos y al inicio el ensayo. El agua a capacidad de campo se correlaciona con la humedad en el mes de marzo de forma positiva, indicando que en este mes las entradas de agua son significativas en relación a la capacidad de almacenar agua del suelo. El tamaño de las arvenses no guarda relación con el agua contenida en los primeros 25 cm, excepto para el mes de marzo y abril de los años secos, cuando resulta positiva y altamente significativa. En el perfil más profundo, hasta el mes de abril no aparece una relación entre la humedad y el tamaño de arvenses, cuando resulta significativa y positiva, para tornarse negativa pero no significativa más allá del primer control y hasta el mes de junio, durante la segunda mitad del ensayo. Finalmente, a medida que aumentan los días desde la última precipitación hasta el primer corte, la humedad del suelo es menor de abril hasta junio para los años húmedos. Por el contrario, para los años secos (marzos secos), la humedad del suelo se correlaciona de forma positiva con los días transcurridos desde la última lluvia, sobre todo si tras la sequía suceden precipitaciones.

Tabla 2.18. Tabla de correlaciones bivariadas entre la humedad del suelo y las variables independientes para los primeros 25 centímetros de profundidad.

	CONJUNTO				HÚMEDO (1 y 6)				SECO (2 y 4)				1ª PARTE (1,2,3)				2ª PARTE (4,5,6)			
	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI
IC verde	- **	-	+	- *	+	- *	+	+	-	-	-	-	+	- *	+	+	+	+	+	- **
IC total	- **	-	-	-	+	- *	+	- **	-	-	-	-	+	- *	+	- **	+	+	-	-
DA	- *	- **	-	-	- **	-	-	-	-	-	-	-	- **	-	-	-	-	-	-	-
p plantas	- *	- **	+	-	+	- *	-	-	-	-	-	-	+	- **	-	-	+	- *	+	-
MF	- **	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-
MS	- **	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-
MF veza	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-
MS veza	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-
Shannon	-	+	-	- *	-	- *	-	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	- *
Riqueza	- **	-	+	-	+	- **	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-
MO	- **	+	+	- *	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-
p asteráceas	- *	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-
Agua CC	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-
Tamaño arvenses	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
DíasultP1cor	-	- **	- **	-	-	- **	- **	- *	-	+	+	+	-	- **	- **	- **	+	-	+	+
DíasultP2cor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	- *
Agua abajo	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	- **	+	+	+	+	+	+	+

*nivel de significación ($\alpha=0,05$); **nivel de significación ($\alpha=0,01$). Signo “+”: aumento de la humedad, signo “-”: reducción de la humedad. IC verde: índice de cobertura verde; IC total: índice de cobertura total; DA: densidad aparente; p plantas: individuos/m²; MF: materia fresca; MS: materia seca; Shannon: índice de diversidad de Shannon; Riqueza: número de especies; MO: materia orgánica; p asteráceas: nº asteráceas/m²; Agua CC: agua a Capacidad de Campo; Tamaño arvenses: gr ms/individuo; DíasultP1cor: días desde la última precipitación hasta el 1er control de la cubierta; DíasultP2cor: días desde la última precipitación hasta el 2º control de la cubierta; Agua abajo: agua contenida en el perfil de suelo de 25 a 50 centímetros.

Tabla 2.19. Tabla de correlaciones bivariadas entre la humedad del suelo y las variables independientes de 25 a 50 centímetros de profundidad.

	CONJUNTO				HÚMEDO (1 y 6)				SECO (2 y 4)				1ª PARTE (1,2,3)				2ª PARTE (4,5,6)			
	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI	III	IV	V	VI
IC verde	- *	-	+	- *	+	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
IC total	-	-	+	- **	+	-	+	- **	-	-	-	-	+	- *	+	- **	+	+	-	-
DA	-	- **	-	-	-	- **	-	-	-	-	-	-	-	- *	-	- *	-	-	-	+
p plantas	-	- *	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	- *	-	-	+	-	-	-
MF	- *	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-
MS	- *	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-
MF veza	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
MS veza	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-
Shannon	-	-	-	-	-	- **	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	- *
Riqueza	- *	-	-	-	+	- *	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
MO	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-
p asteráceas	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-
Agua CC	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-
Tamaño arvenses	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-
DíasultP1cor	-	- **	- *	-	+	- **	- **	- *	+	-	-	-	-	- **	-	- **	+	+	+	+
DíasultP2cor	-	-	-	- *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	- *
DA abajo	-	- *	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- *	-	-	-
Agua CC abajo	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Agua arriba	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	- **	+	+	+	+	+	+	+

*nivel de significación ($\alpha=0,05$); **nivel de significación ($\alpha=0,01$). Signo "+": aumento de la humedad, signo "-": reducción de la humedad. IC verde: índice de cobertura verde; IC total: índice de cobertura total; DA: densidad aparente; p plantas: individuos/m²; MF: materia fresca; MS: materia seca; Shannon: índice de diversidad de Shannon; Riqueza: número de especies; MO: materia orgánica; p asteráceas: nº asteráceas/m²; Agua CC: agua a Capacidad de Campo; Tamaño arvenses: gr ms/individuo; DíasultP1cor: días desde la última precipitación hasta el 1er control de la cubierta; DíasultP2cor: días desde la última precipitación hasta el 2º control de la cubierta; Agua arriba: agua contenida en el perfil de suelo de 0 a 25 centímetros.

REGRESIÓN LINEAL

Finalmente, para conocer la incidencia del conjunto de variables sobre la humedad del suelo, y determinar cuáles de ellas explican un mayor porcentaje de la variabilidad y en qué orden, se estudia la regresión lineal entre la humedad y las variables independientes utilizadas para el estudio de las correlaciones bivariadas. Cada modelo de regresión se corresponde a una profundidad y a un momento determinado del año.

Regresiones de 0 a 25 centímetros de profundidad para el mes de abril (2003 - 2009)

El modelo explicativo que se obtiene, excluye al resto de variables del modelo, introduciendo únicamente las que aparecen en las Tablas 2.20 y 2.21. Las variables, índice de cobertura verde en el mes de abril y agua a capacidad de campo a esta profundidad, explican más un 50% de la variabilidad, un 39% y un 13% respectivamente según el cambio en R cuadrado (Anexo 2.A). Junto al resto de variables incluidas el modelo explica un 71% de la variación de la humedad en el perfil más superficial. Asimismo, el valor de F y su probabilidad asociada lleva a rechazar la hipótesis nula y suponer que existe un efecto real de estas variables sobre la humedad.

Tabla 2.20. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
8	,866(h)	,749	,713	1,24737

(h) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT: índice de cobertura verde abril; AGUACCAR: agua a capacidad de campo de 0-25 cm; TAMAARVANT: tamaño de arvenses abril; MATSECAN: materia seca abril; PENDIENTE; ASTERANTE: densidad de asteráceas abril

Tabla 2.21. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEANT, AGUACCAR, TAMAARVANT, MATSECAN, PENDIENTE, ASTERANTE.

ANOVA(i)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
8	Regresión	190,794	6	31,799	20,437	,000(h)
	Residual	63,793	41	1,556		
	Total	254,588	47			

(i) Variable dependiente: AGUARRANT: agua de 0-25 cm en abril.

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
8	(Constante)	-20,763	5,758		-3,606	,001
	ICVERDEANT	,277	,059	,511	4,671	,000
	AGUACCAR	,219	,074	,249	2,980	,005
	TAMAARVANT	16,641	3,203	,792	5,196	,000
	MATSECAN	-,001	,000	-,542	-4,543	,000
	PENDIENTE	-,145	,038	-,346	-3,794	,000
	ASTERANTE	,004	,002	,243	2,315	,026

(a) Variable dependiente: AGUARRANT: agua de 0-25 cm en abril.

La Tabla 2.21 refleja que, de entre este grupo de variables escogidas por el modelo, la pendiente y la materia seca producida en el mes de abril guardan una relación negativa con la humedad del suelo en el perfil más superficial. Sin embargo, el índice de cobertura verde, el agua a capacidad de campo, la densidad de asteráceas y el tamaño de las arvenses mantienen una relación significativa y positiva con el agua del suelo en el mes de abril.

El tamaño de arvenses da idea de la cantidad media de materia seca que tiene un individuo; las plantas más grandes guardan una relación significativa con la mayor cantidad de agua en el suelo antes del primer control. Por otro lado, el índice de cobertura implica un mayor sombreado del suelo, y una superficie mayor de infiltración debido a una mayor densidad de raíces en el mes de abril, que además, permite recargar más agua en el suelo cuanto mayor es su capacidad de campo y cuanto más llueve. La acumulación de materia seca hasta el primer control se ha realizado a costa de parte del agua almacenada en el suelo a la salida del invierno, y alcanza en el mes de abril un óptimo al ser el estado fenológico predominante el de la floración y fructificación de las herbáceas.

Regresiones de 25 a 50 centímetros de profundidad para el mes de abril (2003-2009)

El modelo que se ajusta mejor a la regresión es el formado por las variables índice de cobertura verde en el mes de abril, contenido de arcilla y densidad de plantas antes del primer control (Tabla 2.22). El índice de cobertura verde y el contenido de arcilla resultan explicar una mayor parte de la variabilidad en el contenido de humedad en este perfil del suelo a la vez que mantienen con ella una relación positiva. Al contrario sucede con la densidad de plantas en el mes de abril, relacionado con un menor contenido de agua en el suelo, sin embargo, esta correlación es la menos significativa (Tabla 2.23).

La cobertura vegetal está relacionada con la capacidad de infiltrar agua en el suelo y recargarlo, y la arcilla relacionada con la capacidad de almacenamiento o de reducir su salida por lixiviación. La densidad de plantas en el mes de abril, resulta mantener una relación negativa con el contenido de humedad en el suelo, sin embargo, tiene un menor poder explicativo y una menor significación que las variables anteriores. Una alta densidad de individuos por unidad de superficie, implica una alta densidad de raíces en el perfil más superficial, lo que sin duda, en las primaveras secas, contribuye a bombear agua de abajo hacia arriba, impulsado por un aumento en la evapotranspiración y raíces profundas.

Tabla 2.22. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,579(a)	,335	,320	3,13266
2	,675(b)	,455	,431	2,86582
3	,711(c)	,505	,471	2,76311

(a) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT: índice de cobertura verde abril

(b) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT, ARCILLA: contenido de arcilla

(c) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT, ARCILLA, DENSIPLAANT: individuos/m²

Tabla 2.23. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEANT (índice de cobertura verde abril), ARCILLA (contenido de arcilla), DENSIPLAANT (individuos/m² en abril).

ANOVA(d)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
3	Regresión	342,572	3	114,191	14,957	,000(c)
	Residual	335,930	44	7,635		
	Total	678,502	47			

(d) Variable dependiente: AGUABAJANT: agua de 25-50 cm en abril

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
3	(Constante)	-42,527	9,609		-4,426	,000
	ICVERDEANT	,529	,095	,598	5,569	,000
	ARCILLA	,208	,069	,323	3,006	,004
	DENSIPLAANT	-,002	,001	-,225	-2,099	,042

(a) Variable dependiente: AGUABAJANT: agua de 25-50 cm en abril

En cualquier caso, como el coeficiente de determinación es muy bajo, se analiza el grupo de años, 1, 3, 5 y 6 que tienen mayor precipitación. Esta partición de los datos permite un mejor ajuste de las variables al modelo, aumentando su coeficiente de determinación (Tabla 2.24).

Tabla 2.24. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,584(a)	,341	,317	3,34694
2	,686(b)	,471	,432	3,05251
3	,771(c)	,595	,548	2,72267
4	,842(d)	,708	,661	2,35662

(a) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT: índice de cobertura verde abril

(b) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT, AGUACCAR: agua capacidad de campo de 0-25 cm

(c) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT, AGUACCAR, RIQUESPAN: riqueza especies abril

(d) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEANT, AGUACCAR, RIQUESPAN, DÍASMARZO: días desde marzo hasta el 1er corte

Al igual que sucede para el perfil más superficial, cuanto mayor es la capacidad de campo del suelo y el índice de cobertura verde en el mes de abril, más agua contiene el perfil más profundo antes del primer control de la cubierta. La cubierta verde promueve la entrada por infiltración, y la capacidad de campo del suelo su almacenamiento. Por otro lado, el número de especies distintas y los días transcurridos desde marzo mantienen una relación significativa y negativa (Tabla 2.25). A partir de marzo el perfil profundo del suelo comienza a descargarse por la inercia del agua a ir hacia arriba y salir por evaporación o evapotranspiración, aunque se produzcan lluvias aparentemente abundantes, la inercia de desecación es la que predomina para el perfil profundo antes del control. Un mayor número de especies distintas implica una mayor cantidad de estrategias en el uso del agua a distintas profundidades lo que unido a una mayor calidez y evapotranspiración desde marzo hasta el corte, la tardanza en la eliminación conlleva una evidente reducción del agua almacenada en el perfil más profundo.

Tabla 2.25. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEANT (índice de cobertura verde abril), AGUACCAR (agua capacidad de campo de 0-25 cm), RIQUESPAN (riqueza especies abril), DÍASMARZO (días desde marzo hasta el 1er corte)

ANOVA(e) Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
4	Regresión	336,892	4	84,223	15,165	,000(d)
	Residual	138,842	25	5,554		
	Total	475,734	29			

(e) Variable dependiente: AGUABAJANT: agua de 25-50 cm en abril

Coeficientes(a) Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
4	(Constante)	33,298	29,867		1,115	,276
	ICVERDEANT	,368	,142	,356	2,597	,016
	AGUACCAR	,761	,177	,491	4,291	,000
	RIQUESPAN	-,409	,108	-,448	-3,804	,001
	DÍASMARZO	-1,281	,411	-,436	-3,115	,005

(a) Variable dependiente: AGUABAJANT: agua de 25-50 cm en abril

Regresiones de 0 a 25 centímetros de profundidad para el mes de junio (2007- 2009)

Las relaciones que con el agua del suelo guardan las variables introducidas en el modelo en el mes de junio, se analizan a partir de los datos correspondientes a los dos últimos años del ensayo, cuando se muestrearon también los indicadores de biomasa, diversidad, etc. Ya que el mayor número de datos tomados en campo ofrece un mejor ajuste y poder predictivo. El modelo de regresión excluye de la fórmula a todas las variables excepto a las dos relacionadas con el porcentaje de cobertura del suelo, tanto la cubierta viva o verde como la cubierta total (verde +seca). Este modelo ofrece un buen ajuste y es significativo (Tablas 2.26 y 2.27). Aproximadamente la mitad de la variación de la humedad se encuentra explicada por la cobertura verde en el mes de junio (32%), mientras que la inclusión de la cobertura total, con la misma significación, aumenta el poder explicativo de la regresión hasta el 65%.

Tabla 2.26. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,595(a)	,354	,325	2,07253
2	,828(b)	,686	,656	1,47993

(a) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEDES: índice de cobertura verde en junio

(b) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEDES, ICTOTDESP: índice de cobertura total junio

Una mayor cobertura verde entre los dos controles de la cubierta, implica un mayor consumo de agua en los primeros 25 centímetros y por tanto una reducción de la humedad del suelo en este perfil. La cobertura total al ser el resultado de la cobertura verde más la cobertura seca no deja entrever su verdadera correlación, por tener ambas variables, en principio, un significado contrario. En este mes del año, la cubierta verde extrae el agua, mientras que la cobertura seca

debiera reducir las pérdidas de humedad por evaporación, lo que explicaría el signo de la relación.

Tabla 2.27. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEDES (índice de cobertura verde en junio), ICTOTDESP (índice de cobertura total junio)

ANOVA(c)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2	Modelo					
	Regresión	100,320	2	50,160	22,902	,000(b)
	Residual	45,994	21	2,190		
	Total	146,314	23			

(c) Variable dependiente: AGUARRDES: agua de 0 a 25 cm en junio

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
2	(Constante)	8,654	1,122		7,711	,000
	ICVERDEDES	-,112	,017	-,1246	-6,747	,000
	ICTOTDESP	,096	,020	,869	4,706	,000

(a) Variable dependiente: AGUARRDES: agua de 0 a 25 cm en junio

En cualquier caso, debido a la limitación que para esta fecha del año supone el contenido de agua en relación a la formación del fruto, se seleccionan los datos correspondientes a los años, 2, 3, 4 y 6 con primaveras secas.

Tabla 2.28. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,845(a)	,714	,685	,65834
2	,926(b)	,858	,827	,48865

(a) Variables predictoras: (Constante), SHANONANT: índice de diversidad de Shannon en abril

(b) Variables predictoras: (Constante), SHANONANT, ASTERANTE: densidad de asteráceas en abril

Tabla 2.29. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: SHANONANT, ASTERANTE

ANOVA(c)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2	Modelo					
	Regresión	13,008	2	6,504	27,239	,000(b)
	Residual	2,149	9	,239		
	Total	15,157	11			

(c) Variable dependiente: AGUARRDES: agua de 0-25 cm en junio

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
2	(Constante)	14,756	1,545		9,554	,000
	SHANONANT	-3,041	,531	-,744	-5,725	,000
	ASTERANTE	,003	,001	,393	3,025	,014

(a) Variable dependiente: AGUARRDES: agua de 0-25 cm en junio

Teniendo en cuenta que, entre controles, la única cubierta con cobertura total es la desbrozada, la mayor parte de datos registrados en junio se corresponden con este tratamiento, y los resultados de la regresión son más fácilmente interpretados a través de la dinámica propia de las cubiertas desbrozadas. Esta partición de los datos, resulta en un modelo más explicativo, hasta un 82% (Tabla 2.28). La variable que presenta una mayor correlación con la humedad es el índice de Shannon del mes de abril, y con hasta un 20% de la variabilidad explicada aparece en segundo lugar la densidad de asteráceas antes del primer control. La diversidad de arvenses antes del primer control, está relacionada de forma negativa con la humedad del suelo antes del segundo control (Tabla 2.29). La presencia de una variedad de especies distintas que mantienen un equilibrio en su abundancia proporcional, suponen también una diversidad de estrategias en el uso eficiente del agua (profundidad, morfología) lo que implicaría menores contenidos de humedad en el suelo en el perfil donde se desarrollan y hasta su senescencia. Esta alta diversidad florística presenta su óptimo desarrollo antes del primer control en las cubiertas labradas acumulando materia seca y fructificando, mientras que en las cubiertas desbrozadas esta misma vegetación presente en el mes de abril, es la que sigue desarrollándose hasta antes del segundo control, con una importante cantidad de raíces en los primeros 15 cm, lo que relaciona el índice de Shannon en abril con un menor contenido de humedad en junio.

En el modelo, la mayor humedad del suelo en el perfil superficial antes del segundo control, depende de la mayor densidad de plantas asteráceas registradas en abril. En las cubiertas donde abundan las asteráceas, éstas presentan una menor densidad de plantas por unidad de superficie, tienen hojas grandes que sombrean el suelo, raíces profundas, pivotantes y engrosadas, crecen en grupos y además, presentan muchas de ellas una floración tardía. Este tipo de asteráceas son abundantes, sobre todo en el tratamiento desbrozado, y atendiendo a su morfología se advierte su alta capacidad para recoger agua de lluvia y almacenarla, así como de sombrear el suelo, lo que supone, antes del primer control, un incremento de las entradas de agua en el sistema y una reducción de las salidas. Además estas asteráceas con floración tardía en el mes de abril todavía no han alcanzado su momento de mayor extracción de recursos, lo que permite mantener cierta humedad en el suelo en el perfil superficial del suelo tras el primer control.

Regresiones de 25 a 50 centímetros de profundidad para el mes de junio (2007-2009)

Llegar al mes de junio con un mayor o menor contenido de humedad en profundidad es muy importante para la producción de aceituna en los secanos. En este momento del año, la reducción del contenido de humedad de 25 a 50 centímetros está altamente relacionado con la densidad de asteráceas antes del segundo control de la cubierta (Tabla 2.30), debido a que este periodo coincide con su máxima floración y posterior fructificación. Por otro lado, cuando se añade al modelo la variable índice de cobertura total antes del primer control, la variación de la humedad se explica en un 36% (Tabla 2.30). Sin embargo, esta segunda variable es menos significativa y está relacionada positivamente con la humedad contenida en este perfil del suelo (Tabla 2.31). La explicación a este resultado debe tener relación con la cobertura seca (acolchado o mulch) presente sobre la superficie antes del segundo control, que permitiría reducir la evaporación de agua directamente desde el suelo.

Tabla 2.30. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,457(a)	,209	,173	2,67198
2	,603(b)	,364	,304	2,45213

(a) Variables predictoras: (Constante), ASTERDESP: densidad de asteráceas en junio

(b) Variables predictoras: (Constante), ASTERDESP, ICTOTDESP: índice de cobertura total en junio

Tabla 2.31. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ASTERDESP, ICTOTDESP

ANOVA (c)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
2	Regresión	72,310	2	36,155	6,013	,009(b)
	Residual	126,272	21	6,013		
	Total	198,581	23			

(c) Variable dependiente: AGUABAJDES: agua de 25 a 50 cm en junio

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
2	(Constante)	1,471	3,889		,378	,709
	ASTERDESP	-,061	,018	-,987	-3,384	,003
	ICTOTDESP	,122	,054	,660	2,263	,034

(a) Variable dependiente: AGUABAJDES: agua de 25 a 50 cm en junio

Como el modelo presenta un bajo coeficiente de determinación, se estudia una nueva regresión, esta vez para el grupo de años más secos, y con primaveras secas, el 2,3 y 4.

Tabla 2.32. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,583(a)	,340	,310	2,28467

(a) Variables predictoras: (Constante), ICVERDEDES: índice de cobertura verde en junio

Tabla 2.33. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: ICVERDEDES

ANOVA (b)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	59,087	1	59,087	11,320	,003(a)
	Residual	114,834	22	5,220		
	Total	173,921	23			

(b) Variable dependiente: AGUABAJDES: agua de 25 a 50 cm en junio

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta	B	Error típ.
1	(Constante)	9,012	,969		9,301	,000
	ICVERDEDES	-,086	,026	-,583	-3,365	,003

El poder predictivo de este modelo se reduce, ya que para estos años de estudio no se tienen muestreos en junio de biomasa y diversidad. Sin embargo, se puede observar como la variable índice de cobertura verde después del primer control explica la reducción de agua del suelo en el perfil más profundo en un 34% (Tabla 2.32). Si la cubierta viva entre controles es responsable, en parte, de un menor contenido de humedad en el suelo en junio, está claro que la cubierta que experimenta una mayor reducción será la cubierta desbrozada

Modelo de regresión lineal para el quinto año y sexto de 25 a 50 cm

Cuando introducimos los datos de humedad del mes de junio de los dos últimos años de ensayo, junto a las mismas variables independientes que venimos manejando, el programa nos da la salida que se muestra en las tablas siguientes. El modelo de regresión para las variables recogidas en el mes de junio los dos últimos años de estudio es más explicativo pero menos significativo (Tablas 2.34 y 2.35). La variabilidad en los valores de humedad está explicada en un 66% por la riqueza específica presente en el mes de junio, antes del segundo control. La alta colinealidad de las variables densidad de asteráceas después y riqueza específica después indica que están correlacionadas con la variable dependiente de forma muy similar (Anexo 2.A). Un mayor número de especies distintas sobre el suelo entre los dos controles de la cubierta, conlleva un menor contenido de agua en el suelo en el mes de junio.

Tabla 2.34. Resumen del modelo de Regresión lineal para el conjunto de variables.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,815 ^a	,664	,609	1,98479

(a) Variables predictoras: (Constante), RIQUESPDES: riqueza específica en julio

Tabla 2.35. Test ANOVA, significación y coeficientes del modelo de Regresión para las variables predictoras: RIQUESPDES

ANOVA (a)		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo						
1	Regresión	46,801	1	46,801	11,880	,014 ^b
	Residual	23,636	6	3,939		
	Total	70,437	7			

(a) Variable dependiente: AGUAABDES: agua de 25 a 50 cm en junio

Coeficientes(a)		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
Modelo		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	19,820	3,285		6,033	,001
	RIQUESPDES	-,383	,111	-,815	-3,447	,014

(a) Variable dependiente: AGUABAJDES: agua de 25 a 50 cm en junio

Una vez evaluados los resultados, se puede afirmar que existe una alta correlación entre la cobertura vegetal y el contenido de humedad en el suelo, pero esta relación es positiva o negativa en función del mes del año y de las condiciones climáticas. Un mayor índice de cobertura y una mayor densidad de plantas, y por tanto de raíces, permite una mejor recarga del suelo durante el invierno y los periodos húmedos. Sin embargo, la mayor humedad del suelo antes del primer control, está más correlacionada con el índice de cobertura y con el tamaño de las arvenses que con la densidad de plantas. Tal como exponen Jofre y Rambal (1993), existe una fuerte dependencia entre la pérdida de agua de lluvia y la cubierta vegetal esparsa en las zonas mediterráneas. Por otro lado, la humedad del suelo en el mes de junio, se encuentra correlacionada de forma negativa con la diversidad vegetal presente y con la densidad de plantas. Así como en invierno y en periodos húmedos la cubierta densa y uniforme asegura la recarga del suelo, a partir del mes de mayo y hasta el verano, una mayor densidad de plantas y una mayor diversidad y cobertura implican una mayor reducción de agua en el suelo. Según Singh (1998), el pico de crecimiento de los pastos lo encontramos en los meses de mayo y junio para las zonas semiáridas, aumentando la demanda de agua y la actividad de la planta. Este comportamiento sería más parecido al de las cubiertas de veza desbrozada que al de las labradas, cuyo máximo desarrollo ocurre más adelantado, en marzo-abril. En este sentido, Sosebee *et al.* 1982, midieron menores cantidades de agua en el suelo durante la primavera cuando el ratio de crecimiento de las plantas fue mayor.

Es sabido, que la relación que guarda la humedad con la densidad de raíces es altamente significativa. Esta relación se refleja en este estudio entre la humedad y la densidad de plantas, y entre la humedad y la densidad de asteráceas, que presentan sistemas radiculares profundos y engrosados. Esta correlación es negativa en el mes de abril, sobre todo en las primaveras secas, en el periodo de evapotranspiración, mientras que esta misma correlación es positiva para los meses de marzo de los años húmedos, durante el periodo de recarga. La mayor variación en el contenido de humedad ocurre en los primeros centímetros de suelo, donde se desarrollan la mayoría de las raíces de las arvenses, hasta el 56% de la biomasa radicular se desarrolla en los primeros 15 centímetros (Liang *et al.*, 1989). Asimismo, El uso del agua desde las capas más profundas está limitada por la cantidad de raíces activas en los primeros centímetros (Hillel, 1971). Cuando el perfil más superficial del suelo se seca tras el primer control y hasta el segundo, toma importancia el agua contenida en profundidad, así como la mayor correlación con las variables medidas como el índice de cobertura o la densidad de asteráceas en junio. La actividad de plantas de gran porte y sistema radicular pivotante y profundo durante los meses de mayo y junio, promueven la pérdida de agua en el perfil más profundo del suelo. En otoño, las raíces ocupan la capa más superficial, pero su desarrollo no se completa hasta el mes de enero-febrero para las herbáceas anuales y hasta mayo para las especies perennes (Sala *et al.*, 1992). En este sentido, Singh & Coleman (1974) encontraron que las raíces que crecen en las capas más profundas son ante todo reemplazadas durante la primera parte de la estación de crecimiento y, consecuentemente, éstas puedan tener una función crucial explotando la disminución de agua en el suelo.

Durante los tres últimos años de ensayo, sobre todo para el perfil más profundo a la salida del invierno, las cubiertas sembradas son las que recargan mejor el suelo. En este sentido otros estudios mencionan a las cubiertas de invierno como reductoras de la compactación y

promotoras de la infiltración de agua en el suelo (Dabney, 2001; Folorunso, 1991). A la salida del invierno, las variables medidas están menos correlacionadas con el agua en el perfil profundo, en comparación con el análisis realizado a la entrada del verano. A la salida del invierno los movimientos de agua se suceden en el primer perfil, sin que el agua a profundidad mantenga relación con otra variable excepto con la propia agua contenida en superficie. Por otra parte, existe una correlación positiva y significativa entre el agua disponible y la materia orgánica en el suelo. Durante el transcurso del ensayo ha aumentado la materia orgánica de los suelos en los que se siembra veza, que son a su vez los que mejor se recargan en profundidad a la salida del invierno, cuando este es lluvioso. Se ha observado este comportamiento para los suelos con cobertura vegetal (Hudson, 1994; Manns, 2007), promoviendo la infiltración y la retención de agua.

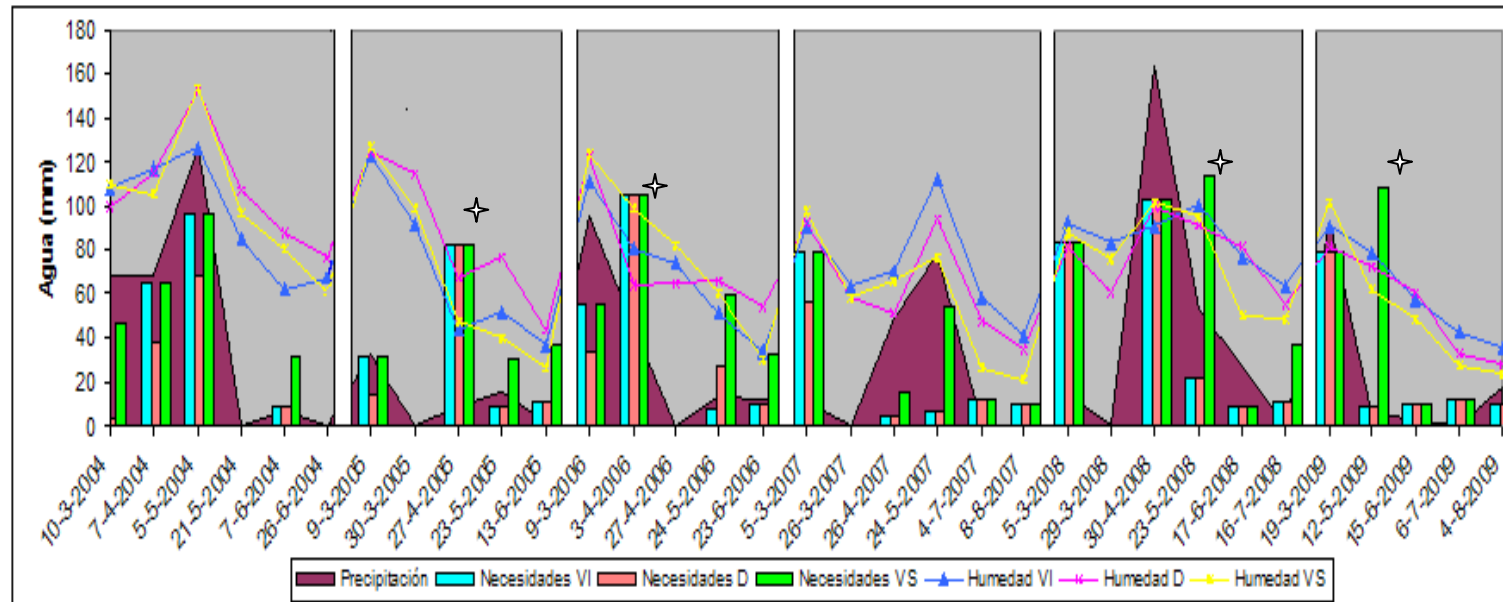
Tras el control de la cubierta en el mes de abril, las cubiertas labradas minimizan sus pérdidas de agua por transpiración vegetal, al ser enterradas, y por otro lado, se reduce la evaporación directa desde el suelo al reducir la subida de agua por capilaridad hasta la superficie (Unger, 1991). Estas serían las razones por las que las cubiertas labradas mantienen más humedad en el suelo entre los dos controles. Por otro lado, la cubierta de veza desbrozada reduce en parte su transpiración, a la vez que regula la evaporación de agua desde el suelo a través de la evapotranspiración de las plantas, que siguen cubriendo el suelo hasta el segundo control de la cubierta. Al iniciarse la sequía estival, entrado el verano, se aprecia un mejor comportamiento de la cubierta sembrada y labrada frente a los demás tratamientos, sobre todo en los últimos años de ensayo. La mayor humedad que es capaz de conservar el tratamiento sembrado y labrado de julio a agosto, nos lleva a pensar en la relación que guarda el tipo de residuos incorporados en cantidad y calidad, así como la posición de los mismos en el suelo y su volteo.

El periodo en que el balance de agua es positivo, debe darse de octubre a marzo (Hernández *et al.*, 2005), ya que tras las lluvias otoñales, la hierba tiene una muy baja evapotranspiración, incluso despreciable (Joffre & Rambal, 1993). Además, durante los meses en que se forma escarcha sobre las plantas se ralentiza la evaporación y la evapotranspiración del agua (Pastor, 1989; Terrades, 2001). En los climas áridos, cualquier pequeña entrada de agua es de suma importancia; las plantas ajustan su morfología a las principales características del régimen de precipitaciones, esto es, a un alto número de lluvias pequeñas e intermedias (Sala *et al.*, 1992). Además, según Joffre y Rambal, (1993), la respuesta de las plantas herbáceas está débilmente relacionada con las lluvias de otoño, al contrario de lo que sucede con las lluvias primaverales, cuando la respuesta de las plantas se encuentra altamente correlacionada con la disponibilidad de agua en los primeros 40 centímetros de suelo. A pesar de no disponer del muestreo de humedad de septiembre a febrero, las Figuras 2.7 y 2.8 muestran como los meses de marzo la curva de humedad proviene de un punto de agua anterior positivo, esto es así excepto para los años con un otoño-invierno seco (el cuarto y quinto año) cuando la humedad con la que se inicia el ensayo ya se sitúa por debajo del 14%. Por el contrario, a partir del mes de junio nunca llueve suficiente para mantener un balance hídrico positivo de cara al verano. Durante los seis años de estudio, el último mes de muestreo, entorno a julio-agosto, es el momento en que el suelo de todas las cubiertas se encuentra con un contenido de agua menor para todo el perfil y este déficit hídrico impide la expresión de la vegetación sobre el suelo. El contenido de humedad del suelo en el punto de marchitez permanente, informa sobre el límite de agua

aprovechable para las plantas. Sin embargo, en el olivar del ensayo, aún encontrarse el suelo por debajo de este punto de humedad (14% de suelo seco) durante la mayor parte del tiempo de muestreo, las plantas permanecen verdes y turgentes hasta entrado el verano. Hay que tener presente que las plantas en las regiones secas son capaces de extraer agua muy por debajo del límite de 1,5 MPa (Noy-Meir, 1973). Asimismo, la disponibilidad de agua varía a través de un amplio rango de valores de potencial hídrico dependiendo del potencial hídrico de la planta, del suelo y de la densidad de raíces (Lascano & Van Bavel, 1984). Del mismo modo, estos procesos ocurren en el olivo en las horas más cálidas del día (Pérez, 2004) como el ajuste osmótico y el cierre de estomas, lo que les permite ser más eficientes en el uso del agua. Además, al olivar de estudio se le “da polvo” en verano con una rastra (sólo en las cubiertas naturales) para promover el menor intercambio de gases a través de los estomas de la planta en los meses más calurosos. En cualquier caso, el olivo es capaz de disminuir su potencial hídrico por debajo de valores que causarían la deshidratación y muerte de casi la totalidad de plantas cultivadas, así como de extraer agua del suelo por debajo del punto de marchitez permanente (Orgaz & Fereres, 2004; Tubeileh, 2009).

El periodo de tiempo entre las primeras precipitaciones otoñales hasta final del invierno (marzo-octubre), es el periodo de infiltración y almacenamiento. Durante este periodo, cuando la precipitación supera los 350 mm, y los suelos están cubiertos con vegetación abundante, predominan los movimientos de agua que recargan el suelo, a la vez que se limitan las salidas por escorrentía superficial o subsuperficial. Durante las primaveras húmedas, también se infiltra agua en el suelo, aunque esta recarga no logra balances hídricos tan positivos como cuando sucede en invierno, ya que las salidas debidas a la evapotranspiración son muy importantes. La infiltración primaveral es más efectiva cuando se incorpora la cubierta al suelo en superficie y llueve seguidamente, o bien, en los años en que se mantiene el suelo cubierto y llueve antes del control. En un segundo momento, cuando el invierno se retira, suben las temperaturas y el movimiento principal del agua pasa a ser el de la evapotranspiración, a través de las plantas que están en pleno crecimiento (marzo-mayo). Este periodo de desecación del suelo, los años medios o húmedos, comienza a partir del mes de abril, y coincide con el inicio del periodo en que se debe eliminar la vegetación en dos ocasiones hasta mitad de junio, ya que la evapotranspiración penaliza la conservación de agua mínima necesaria para la floración y cuajado de la aceituna. A partir del mes de mayo la demanda de agua de la cubierta que rebrota tras el desbrozado excede la capacidad del acolchado para reducir la salida de agua por evaporación desde el suelo. Por otro lado, la incorporación de gran cantidad de biomasa fresca en los primeros centímetros del suelo logra conservar una mayor cantidad de agua durante este periodo reduciendo los movimientos de agua por procesos de evaporación directa desde el suelo por capilaridad desde capas profundas. A partir del segundo control de la cubierta se inicia el periodo seco, en el que predomina la salida de agua por evaporación (junio-agosto), y en el que es importante estabilizar la pérdida de agua ya que el olivo se encuentra en fase de endurecimiento del hueso. En todos los tratamientos, el agua contenida en el suelo sigue reduciéndose tras el segundo control de la cubierta y hasta el mes de agosto. En este periodo, los resultados muestran una eficacia relativa del acolchado para estabilizar la reducción de la humedad del suelo de junio a agosto. En el caso de las cubiertas labradas sería interesante determinar hasta qué punto el hecho de dar un polvo con rastra en este periodo contribuye a reducir las salidas por evaporación.

Figura 2.7. Necesidades de agua (Evapotranspiración) de las distintas cubiertas, humedad del suelo según tratamiento y precipitación de 2003 a 2009. VI: veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: veza desbrozada; ✦Estrellas: la necesidad de agua de las cubiertas supera la humedad contenida en el suelo.



Según la Figura 2.7, el año más seco (2004-2005), del que se esperaría un bajo contenido de humedad en el suelo, y alta demanda de agua por parte de la cubierta, presenta un contenido de agua en el suelo, mayor a otros años de la serie en que las precipitaciones han sido muy superiores y unas demandas de agua por parte de la cubierta a principios de primavera muy bajas en relación al resto de años de la serie. En este sentido, hay que tener en cuenta que, los años húmedos, la actividad de las plantas aumenta, así que también lo hace la demanda de agua, y por tanto, la mayor disminución del agua del suelo se produce los años húmedos en relación a los años secos (Milchunas *et al.*, 1994). Además, para el segundo año, la falta de lluvias se suma a un invierno muy frío, con heladas y nieve hasta el mes de marzo, lo que conllevó que la cubierta creciera muy poco, reduciendo mucho su crecimiento y su evapotranspiración hasta el mes de abril debido al frío, del mismo modo se comporta el olivar.

Por otro lado, se puede afirmar que lo habitual es que los meses en que la cubierta tiene más necesidades de agua sean el mes de abril para todos los tratamientos y también el mes de mayo para la cubierta segada (columna verde de la Figura 2.7), ya que ésta, sigue con una cobertura verde entorno al 60% de la superficie del suelo y rebrota de nuevo tras el primer control. Sin embargo, si las temperaturas al final del invierno son suaves y no llueve, las cubiertas también muestran para el mes de marzo altas necesidades de humedad, y en el mismo sentido, si se retrasa la primera eliminación de la cubierta hasta el mes de mayo, las necesidades de agua de todas las cubiertas para ese mes son muy importantes debido a la formación de frutos y semillas. En cualquier caso, queda evidenciado que para todos los momentos, excepto aquellos marcados con una estrella en la Figura 2.7, la humedad del suelo entre calles ha permitido cubrir las necesidades de la cubierta hasta su eliminación.

A partir del primer control de la cubierta vegetal, la humedad que permanece en el suelo es mayor a los requerimientos de agua de las cubiertas para todos los tratamientos ensayados, excepto para la cubierta desbrozada el quinto y sexto año de ensayo, coincidiendo con la inversión de la flora en este tratamiento (Figura 2.7). Tras el segundo control, en el mes de julio, la vegetación herbácea se encuentra senescente para todos los tratamientos, con lo que cesa la competencia por el agua con el olivo. En las condiciones de estudio para que el balance hídrico del suelo con cubierta temporal sea positivo, es necesario que la desecación de la hierba se produzca cuando la lluvia esperada pueda, aún, reponer lo gastado (Pajarón Sotomayor, 2002). En el periodo anterior al inicio de la desecación del suelo, las cubiertas desbrozadas en un año con un otoño-invierno medio o lluvioso son las que permiten una mayor recarga del suelo, tendencia que se invierte a partir de la segunda quincena de abril. La primera eliminación de la cubierta (segunda quincena de abril de 2005 a 2009) debería haberse adelantado para no incurrir en altas necesidades en pleno mes de abril, aunque de forma semejante a la que exponía Pastor (1989), técnicamente es interesante esperar a eliminar la cubierta, en el momento en que se obtiene mayor cantidad de biomasa aportada al suelo. La siega mecánica a finales de marzo mantiene suelos con una humedad significativamente mayor que los segados a mediados de abril o a finales de abril (Humanes y Pastor, 1995). En general, una eliminación temprana de la cubierta vegetal, minimizaría las posibles pérdidas de rendimiento (Ramos *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la composición y estructura florística de las cubiertas está estrechamente relacionada con la evolución del agua en el suelo. El aumento de la diversidad, de la densidad de individuos, de la producción de biomasa, junto al enriquecimiento del suelo a través de los años de estudio, conlleva una mayor demanda de agua que se acentúa en las primaveras húmedas y cálidas de forma general.

Las cubiertas sembradas presentan la máxima floración de las especies más abundantes, más tarde que las espontáneas, a partir de la segunda quincena de abril, por lo que su eliminación debe realizarse durante la primera quincena de abril para evitar el momento de mayor demanda de agua por parte de la vegetación. En el caso de las cubiertas espontáneas labradas, el primer control debe ser anterior al de las cubiertas sembradas de veza, los últimos días de marzo o primeros de abril, coincidiendo con la máxima floración de la vegetación. En cualquier caso, para la zona de ensayo, el momento de la primera eliminación debe realizarse antes de la segunda quincena de abril, y el segundo control antes de la segunda de junio.

En el mes de mayo, el rebrote de la vegetación tras su desbroce, conlleva un brusco descenso de agua contenida en el suelo, llegando al mes de julio-agosto con un menor contenido de agua en todo el perfil. Una manera de mejorar la disponibilidad de agua en los suelos con cubierta desbrozada tras el primer control, sería realizar más controles, o bien, la opción más sostenible, mantener un desbrozado continuo de bajo coste entre los dos controles de la cubierta, como es el pastoreo a muy baja carga.

El segundo control de la cubierta no debe darse más allá de la segunda quincena de junio en la zona de estudio, porque esto promueve la producción de semillas por parte de especies como *Centaurea solstitialis*, promoviendo una mayor demanda de agua en un momento crítico para el olivo y una mayor presencia de especies de floración tardía la campaña siguiente, con el consecuente consumo de recursos que esto conlleva tras el primer control de las cubiertas.

Se diferencian dos patrones en la evolución de agua en el suelo. Por un lado, los inviernos con sequía, adelantan el momento en que se inicia el periodo de desecación del suelo, ya en el mes de marzo, con una evidente reducción hasta abril, mientras que en los años en que llueve a final de invierno y principio de primavera, logran estabilizar el contenido de humedad hasta el primer control. Junto a la precipitación, la temperatura media que ocurre en otoño-invierno, marca el estado fenológico con el que llegan las cubiertas al mes de marzo y al primer control, lo que indica de forma indirecta el ritmo de desecación del suelo.

De forma general, las cubiertas presentan un contenido de agua mayor a la salida del invierno los años con otoño-invierno medios (unos 380 mm de septiembre a marzo), años en que además, el balance hídrico al inicio del mes de marzo es positivo, sobre todo en las cubiertas sembradas. Cuando llueve a final de invierno y hasta el primer control de la cubierta, las cubiertas sembradas mantienen el suelo más húmedo que las espontáneas, y si además el otoño-invierno es húmedo (500-700 mm) la cubierta desbrozada es la que recarga el suelo de forma más eficiente en profundidad y presenta una humedad mayor a la salida del invierno.

Sin embargo, los años secos con otoño-invierno cálidos y secos (<300 mm de septiembre a marzo) se adelanta el inicio de la desecación del suelo, lo que diluye las diferencias entre tratamientos en marzo-abril. En un año muy seco (<170 mm anuales), la cubierta espontánea contiene más humedad en el suelo que las sembradas en los meses de marzo y abril. Sin embargo, en los años medios, la cubierta espontánea presenta una menor humedad del suelo en marzo, por un lado por su menor cobertura del suelo, pero principalmente debido a la proliferación de crucíferas de floración a final de marzo.

El manejo de los primeros 25 centímetros de suelo, repercute en la capacidad de contener agua en el perfil más profundo, por lo que es de vital importancia evitar las compactaciones excesivas del suelo en superficie o las suelas de labor en los primeros 25 centímetros. Una suela de labor, al igual que un horizonte petrocálcico pueden dar lugar a escorrentía subsuperficial, limitando los flujos de agua verticales de recarga.

Los dos primeros centímetros de suelo en la cubierta de veza desbrozada presentan un mayor porcentaje de agua en el punto de marchitez permanente, lo que significa que esta capa de suelo es menos porosa que la inmediatamente inferior, lo a que a su vez está relacionado con una mayor proporción de limo y una mayor compactación superficial. Es destacable el hecho de que el tratamiento con veza desbrozada presenta un significativo mayor porcentaje de arena en su textura, lo que le conferiría una menor capacidad de retención de agua. Sin embargo, estas características no afectan a la capacidad de infiltrar el agua en profundidad y almacenarla. Por otro lado, de 0 a 10 cm, en el suelo de las cubiertas de veza labrada, se presenta un contenido de agua útil mayor a los de la cubierta espontánea labrada.

La pendiente y la materia seca producida en el mes de abril guardan una relación negativa con la humedad del suelo en el perfil más superficial. Sin embargo, el índice de cobertura verde, el agua a capacidad de campo, la densidad de asteráceas y el tamaño de las arvenses mantienen una relación significativa y positiva con el agua del suelo en el mes de abril. A pesar de que la densidad de plantas y el porcentaje de cobertura verde ayudan a recargar el suelo de agua durante el periodo de infiltración, cuando comienza el periodo de desecación del suelo, estas mismas variables promueven la reducción de agua en el suelo, ya que aumenta la evapotranspiración del dosel vegetal.

La siembra de veza está correlacionada con un mayor contenido de agua en profundidad hasta el primer control, en relación a la mayor cobertura y densidad del dosel vegetal durante el periodo de almacenamiento de agua. A partir del mes de abril el mantenimiento de una cubierta densa y diversa tiene un coste en agua que, en cualquier caso, se ve compensado por las funciones que asume hasta su eliminación, como la regulación de la biodiversidad presente, y del ciclo de nutrientes y del agua. La cubierta vegetal además de ayudar a infiltrar agua hasta el primer control, también promueve el uso eficiente de la misma hasta el segundo, reduciendo los procesos de evaporación desde el suelo, percolación o lixiviación de nutrientes.

Es muy significativa la correlación existente entre la densidad de asteráceas antes del segundo control y el menor contenido de agua en el perfil profundo de las cubiertas desbrozadas en el mes de junio. En condiciones de humedad limitantes, no es necesario ni conveniente sembrar una cubierta de leguminosas todos los años, ni fertilizar el suelo de las calles, ya que esto

implica mantener cubiertas más demandantes en agua y con mayor poder competitivo frente al olivo. El elevado contenido en materia orgánica y nitrógeno junto al desbrozado conlleva la inversión de la flora y un consumo de agua no deseado a final de primavera desde el punto de vista de maximizar la producción de aceituna.

La siembra de veza controlada con laboreo en el mes de abril, supone un mayor contenido de agua en el suelo de mayo hasta agosto en el perfil profundo del suelo. El hecho de incorporar una gran cantidad de residuos húmedos a unos diez centímetros de profundidad, pareciera crear una zona de amortiguación de la evaporación directa desde capas más profundas del suelo por capilaridad entre controles.

De forma general, no existe una cubierta mejor que otra en términos absolutos en relación al agua que es capaz de conservar en el suelo hasta el primer control de la cubierta, ya que las diferencias entre tratamientos dependen principalmente de las variables condiciones climáticas anuales. La cubierta que permite un buen almacenamiento de agua en otoño-invierno, y más tarde procura la mayor conservación de agua de cara al verano, es la cubierta sembrada de veza e incorporada en superficie.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDEL-RAHMAN, A.A. Y EL-SHARKAWI, H.M. (1973). Response of olive and almond orchards to partial irrigation under dry-farming practices in semi-arid regions. *Plant and Soil*, 41(1): 13-31.
- ALCÁNTARA, C.; SÁNCHEZ, S.; PUJADAS, A. Y SAAVEDRA, M. (2009). Brassica species as winter cover crops in sustainable Agricultural Systems in Southern Spain. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33: 619-635.
- AUGÉ, R.M.; STODOLA, A.J.W.; TIMS, J.E. Y SAXTON, A.M. (2001). Moisture retention properties of mycorrhizal soil. *Plant Soil*, 230: 87-97.
- BLANEY, J.N. Y CRIDDLE, W.D. (1950). Determining water requirement in irrigated areas from climatological and irrigation data. *Tratado de Fitotecnia General*. Mundi-Prensa, Madrid.
- CAP (2009). Estaciones agroclimáticas. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. I.F.A.P.A.
http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController?action=Static&url=coordenadas.jsp&c_provincia=18&c_estacion=5 [Consultado de 2004 a 2015]
- CASTRO, J., FERNÁNDEZ-ONDOÑO, E., RODRÍGUEZ, C., LALLENA, A.M., SIERRA, M., & AGUILAR, J. (2008). Effects of different olive-grove Management Systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil and Tillage Research*, 98(1): 56-67.
- CASTRO, J., & PASTOR, M. (1992). "Siega química de una cubierta viva de cereal mediante el empleo de herbicidas". En *Congreso 1992 de la Sociedad Española de Malherbología*, pp. 225-236.
- CASTRO J., SAAVEDRA, M., & PASTOR, M. (1992). Mejora de la infiltración en olivar mediante el empleo de cubiertas vivas de cereales. *ITEA*, 2: 95-104.

- DABNEY, S.M., DELGADO, J.A., & REEVES, D.W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8): 1221-1250.
- DUPONT, S.T., FERRIS, H., & VON HORN, M. (2008). Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *Applied Soil Ecology*, 41: 157-167.
- EITZINGER, J., UTSET, A, TRNKA, M., ZALUD, Z., NIKOLAEV, M., & USKOV, I. (2007). Capítulo 10: Weather and climate and optimization of farm technologies at different input levels. En Sivakumar M.V.K., Motha, R.P. (eds.). *Managing Weather and Climate Risks in Agriculture*. Springer Berlin Heidelberg New York. pp. 141-170.
- FOLORUNSO, O., ROLSTON, D., PRICHARD, P., & LOUIE, D. (1992). Cover crops lower soil surface strength, may improve soil permeability. *California Agriculture*, 46(6): 26-27.
- FORASTER, L., GÓMEZ, E.J., IGLESIAS, I., MACÍAS, F.J., & RUÍZ DE LA ROSA, M. (2011). *Estudio para la delimitación de zonas experimentales en el olivar de la Sierra de las Nieves Reserva de la Biosfera: Caracterización y recomendaciones para el manejo ecológico del olivar*. Mancomunidad de Municipios Sierra de las Nieves, Málaga. 247 p.
- FUENTES YAGÜE, J.L. Y CRUZ ROCHE, J. (1990). *Curso elemental de riego*. MAPYA. Madrid. pp. 27-61.
- GIL, J. (2007). "El fenómeno de la erosión: Introducción a sus Causas, Síntomas, efectos y consecuencias, La erosión en la Subbética: Situación actual y perspectivas". En *Jornadas sobre la Erosión en la Subbética*, 26 de junio de 2007, Carcabuey, Córdoba.
- GLIESSMAN, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp. 121-136.
- GÓMEZ, J.A. (2005). Effects of soil management on soil physical properties and infiltration in olive orchards: Implications for yield. *FAO Land and Water Bulletin*, 10: 65-70.
- GÓMEZ, J. A. (2009). *Sostenibilidad de la Producción de Olivar en Andalucía*. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. Sevilla.
- GÓMEZ, J.A., SOBRINHO, T.A., GIRÁLDEZ, J.V., & FERERES, E. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of Southern Spain. *Soil and Tillage Research*, 102(1): 5-13.
- HERNÁNDEZ, A.J., LACASTA, C., & PASTOR, J. (2005). Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77(1): 232-248.
- HUMANES, M., & PASTOR, M. (1995). "Comparación de los sistemas de siega química y mecánica para el manejo de cubiertas de veza (*Vicia sativa* L.) en las interlíneas de los olivos". En *Actas Sociedad Española de Malherbología, Congreso 1995*, Huesca 14-16 de noviembre de 1995, pp. 235-238.
- HILLEL, D. (1971). *Soil and water-physical principles and processes*. Academic Press, New York.
- En Singh, J.S.; Milchunas, D.G. y Lauenroth, W.K. (1998). Soil water dynamics and vegetation patterns in a semiarid grassland. *Plant Ecology*, 134: 77-89.
- HUDSON, B.D. (1994). Soil organic matter and available water capacity. *Journal of soil and water conservation*, 49(2): 189-194.

- JOFFRE, R., LEIVA, M.J., RAMBAL, S., & FERNÁNDEZ, R. (1987). Dynamique racinaire et extraction de l'eau du sol par des graminees pérennes et annuelles mediterraneenes. *Acta oecologica. Oecologica Plantarum*, 8(2): 181-194.
- JOFFRE, R., & RAMBAL, S. (1993). How tree cover influences the water balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570-582.
- LABRADOR, J. (2003). La materia orgánica. Base de la fertilización en agricultura ecológica. Fundamentos de agricultura ecológica. Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, Cuenca. pp. 109-119.
- LAMPKIN, N. (2001). Agricultura ecológica. Mundi-Prensa.
- LASCANO, R. J. & VAN BAVEL, C. H. M. (1984). Root water uptake and soil water distribution; test of an availability concept. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 233-237.
- LIANG, Y. M., HAZLETT, D. L. & LAUENROTH, W. K. 1989. Biomass dynamics and water use efficiencies of five plant communities in the shortgrass steppe. *Oecologia*, 80: 148-153.
- MANNS, H.R., MAXWELL, C.D., & EMERY, R.J.N. (2007). The effect of ground cover or initial organic carbon on soil fungi, aggregation, moisture and organic carbon in one season with oat (*Avena sativa*) plots. *Soil and Tillage Research*, 96(1): 83-94.
- MILCHUNAS, D.G., FORWOOD, J.R., & LAUENROTH, W.K. (1994). Productivity of long-term grazing treatments in response to seasonal precipitation. *Journal of Range Management*, 47(2): 133-139.
- MORENO, B., GARCIA RODRIGUEZ, S., CAÑIZARES, R., CASTRO, J., & BENÍTEZ, E. (2009). Rainfed olive farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil management on biological indicators of soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(3): 333-339.
- NOY-MEIR, I. (1973). Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 25-51.
- ORGAZ, F. & FERERES E. (2004). Riego. *El cultivo del olivo*. Mundi-Prensa, Junta de Andalucía. Madrid. pp. 323- 344.
- PAJARÓN, M., SORIANO, M., & HURTADO, L. (1996). "El manejo de cubiertas vegetales en el olivar ecológico". En *II Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Pamplona, 25-28 de septiembre de 1996.
- PAJARÓN SOTOMAYOR, M. (2002). *Olivar ecológico. Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica*. Edita Eumedia y MAPYA, Madrid. pp. 133-142.
- PAJARÓN SOTOMAYOR, M. (2007). *El olivar ecológico. Aprender a observar el olivar y comprender sus procesos vivos para cuidarlo*. La Fertilidad de la Tierra Ediciones, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Navarra.
- PASTOR, J., LACASTA, C., & HERNÁNDEZ, A. J. (2000). Evaluación de las cubiertas vegetales en el olivar de una zona semiárida del centro de España. *Edafología*, 7(2): 165-175.
- PASTOR, M. (1989). Influencia de las malas hierbas sobre la evolución del contenido de agua en el suelo en olivar de secano. *Olivae*, 28: 32-37.
- PASTOR, M. (1998). "El agua y la erosión, parámetros determinantes del futuro del olivar". En *Expoliva 1999*. pp. 928-929.

- PASTOR, M., & CASTRO, J. (1991). "Estudio del momento óptimo de siega química con glifosato de una cubierta viva de cereal en el cultivo del olivar en secano". En *Actas de la Reunión 1991 de la Sociedad Española de Malherbología*, Córdoba, 11-12 de diciembre de 1991, pp. 191-197.
- PASTOR, M., CASTRO, J., HUMANES, M.D., & SAAVEDRA, M. (1997). *La erosión y el olivar: cultivo con cubierta vegetal*. Comunicación I+D Agroalimentaria 22/97. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Sevilla. 24 p.
- PÉREZ, O. (2004). "Detección de estrés hídrico en olivar mediante fluorescencia clorofílica, métodos de espectroscopia y teledetección térmica". Trabajo Profesional Fin de Carrera. ETSIAM (UCO), pp. 18-35.
- PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., & ROQUERO, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 271-390
- RAMOS, M.E., BENÍTEZ, E., GARCÍA, P.A., & ROBLES, A.B. (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage almond orchards in semiarid conditions: effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 44(1): 6-14.
- SALA, O. E., LAUENROTH, W. K., & PARTON, W. J. (1992). Long-term soil water dynamics in the shortgrass steppe. *Ecology*, 73(4): 1175–1181
- SINGH, J.S., & COLEMAN, D.C. (1974). Distribution of photoassimilated ¹⁴C in the root system of a shortgrass prairie. *The Journal of Ecology*, 62: 359–365.
- SINGH, J.S., MILCHUNAS, D.G., & LAUENROTH, W.K. (1998). Soil water dynamics and vegetation patterns in a semiarid grassland. *Plant Ecology*, 134(1): 77-89.
- SOSEBEE, R. E., CHURCHILL, F. M., & GREEN, C. W. (1982). Soil water depletion by Yucca. *Journal of Range Management*, 774-776.
- TERRADES, J. 2001. *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega, Barcelona. 703 p.
- TUBEILEH, A., BRUGGEMAN, A., & TURKELBOOM, F. (2009). Effect of water harvesting on growth of young olive trees in degraded Syrian dryland. *Environment, Development and Sustainability*, 11(5): 1073-1090.
- UNGER, P.W., STEWART, B.A., PARR, J.F., & SINGH, R.P.(1991). Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil and tillage Research*, 20(2): 219-240.
- URBANO TERRÓN, P. (1992). *Tratado de Fitotecnia General*. Mundi-Prensa, Madrid.
- WALTER, H., & LIETH, H. (1961-1967). *Climate diagram World atlas*. Fisher, Jena, Germany.

CAPÍTULO 3: PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO. FERTILIDAD Y NITRÓGENO

La fertilidad es la capacidad que tiene el suelo de proporcionar a las plantas las condiciones necesarias para su óptimo crecimiento y desarrollo, tanto a nivel estructural como nutritivo, y depende de complejos procesos físico-químicos y bioquímicos. En agricultura ecológica mejorar la fertilidad del suelo mediante el aporte de materia orgánica, es uno de los pilares básicos. El ciclo de la materia orgánica está estrechamente vinculado con la vida que alberga el suelo, ya que principalmente hongos y bacterias son los impulsores de complejas reacciones bioquímicas que descomponen la materia orgánica poniendo a disposición de las plantas los minerales contenidos en la misma. La mayor vulnerabilidad de los suelos frente a los procesos erosivos depende en gran medida del manejo del suelo, agravándose en gran medida conforme aumenta la frecuencia e intensidad del laboreo y se reduce progresivamente la materia orgánica edáfica. Esta situación de degradación del suelo afecta directamente a la eficiencia energética y al reciclado de nutrientes, reduciendo la capacidad de sostener a largo plazo el cultivo y de mantener las cadenas tróficas.

El mantenimiento de un suelo fértil en el olivar ecológico pasa necesariamente por el manejo del suelo con cubiertas vegetales frente al laboreo continuo. Abundan los estudios que constatan que el laboreo intensivo resulta en una reducción de la calidad físico-química y biológica del suelo en las regiones semiáridas (Zuazo & Pleguezuelo, 2008; Moreno *et al.*, 2011; García-Orenes *et al.*, 2012; Atucha *et al.*, 2013). Esto sucede también en el olivar (Castro *et al.*, 1992; Gómez, 2005; Gómez *et al.*, 2010; Aranda *et al.*, 2011; Gómez *et al.*, 2011; Nieto *et al.*, 2012). Por otra parte, el uso de cubiertas mejora la fertilidad y calidad del suelo y aumenta su diversidad y capacidad para almacenar agua y reciclar nutrientes (Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005; Gómez & Giráldez 2007; Manns *et al.*, 2007; Zuazo y Pleguezuelo, 2008; Gómez *et al.*, 2009; Taguas *et al.*, 2012).

Ya que la fertilidad del suelo depende de un gran número de parámetros físicos, químicos y biológicos, la situación ideal sería evaluarlos en su conjunto. En el presente estudio, los resultados en relación al análisis físico-químico del suelo, y el seguimiento del contenido de amonio y nitratos, así como la evaluación del valor nutritivo y fertilizante de las cubiertas, pretende corroborar las diferencias detectadas a nivel florístico y de balance hídrico entre tratamientos, lo que a su vez permite profundizar en las relaciones que se establecen a nivel funcional entre los distintos componentes de la diversidad. A pesar de no haber utilizado durante el estudio indicadores bioquímicos o microbiológicos, más sensibles a corto plazo ante el cambio de manejo del suelo, los parámetros físicos y químicos evaluados son adecuados para un estudio más largo en el tiempo como es éste, con seis años de manejo diferencial.

En cualquier caso, una parte de los resultados presentados en este capítulo a nivel edafológico y microbiológico han sido determinados por los grupos del Área de Producción Agraria del I.F.A.P.A Camino del Purchil (Granada) del Departamento de Ecología de la Universidad de Jaén, y del Área de Producción Ecológica del I.F.A.P.A Centro las Torres-Tomejil (Sevilla) en el marco del Proyecto Estrella del Olivar Ecológico en el mismo olivar del ensayo en Deifontes. El enfoque multidisciplinar de la investigación aporta información primaria más precisa y útil.

OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar la calidad del suelo y de la cubierta en función del tratamiento ensayado durante los seis años de estudio. Se parte de la hipótesis de que el establecimiento de cubiertas y el manejo ligero del suelo promueven una mejor estructura del mismo.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar las propiedades físico-químicas del suelo al inicio del ensayo y analizar las diferencias entre tratamientos al final del estudio.
- Determinar el contenido de nitratos y de amonio en el suelo según el tratamiento.
- Analizar la evolución en el contenido de nutrientes de la cubierta según el tratamiento.
- Determinar la aportación de nitrógeno que suponen para el suelo las distintas cubiertas ensayadas y analizar su evolución.
- Determinar la relación C/N para cada una de las fracciones de las que se compone la cubierta natural y sembrada.

Se parte de la hipótesis de que la siembra de leguminosas en la cubierta del olivar implica un incremento de su valor nutritivo y fertilizante, así como de la fertilidad general del suelo.

METODOLOGÍA

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL SUELO.

Para determinar los parámetros físico-químicos de suelo se recogen muestras en la época del año en que hay menos actividad vegetal; en las fechas que se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Calendario de muestreo para el análisis físico-químico del suelo.

	1	2	3	4
FECHA DE MUESTREO	5 de noviembre de 2003	10 de noviembre de 2004	13 de octubre de 2005	1 de enero de 2009

Se recogen tres submuestras en cada subparcela, en total doce submuestras por cada tratamiento ensayado. Se procede avanzando en zig-zag y recogiendo cada submuestra separada una de la otra unos 10 metros. Se retira la biomasa sobre el suelo, y con una azada se recoge el suelo contenido a unos 20 cm de profundidad. Se mezclan las submuestras para cada tratamiento para obtener una única muestra de 1 Kg de peso. Las muestras se llevan al Laboratorio Agroalimentario de Atarfe (Granada) para la determinación del contenido en materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, cationes de cambio, carbonatos, caliza activa, pH, clasificación textural, y potasio y fósforo asimilables. Tras el muestreo de los tres primeros años, el análisis de suelo se repite el sexto año, ya que la mayoría de los parámetros varían a medio y largo plazo, no siendo necesario un análisis anual. El muestreo de 2009 lo realiza el equipo de investigadores del Área de Producción Agraria del

I.F.A.P.A Camino del Purchil (Granada). Esta colaboración permite determinar el contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, potasio de cambio, carbonatos, caliza activa, pH y clasificación textural, densidad aparente y relación C/N de forma estratificada: a 2, 5, 10, 15 y 30 cm de profundidad.

CONTENIDO DE NITRATOS Y AMONIO EN EL SUELO

La determinación de las formas de nitrógeno mineral se realiza en seis ocasiones (Tabla 3.2). Los muestreos coinciden con el inicio de las estaciones de primavera, verano y otoño, cuando la temperatura media-alta y una cierta humedad permiten la actividad biológica en el suelo. Se recogen muestras de suelo con una barrena forestal de 5 centímetros de diámetro a dos profundidades distintas, de 0 a 5 centímetros y de 5 a 15 cm. Se procede muestreando los cuatro olivos centrales de cada subparcela. Se sacan 4 muestras en la calle alineadas desde el tronco con los olivos que le rodean, haciendo un total de 8 submuestras por árbol que se agrupan de modo que quedan contenidas en dos bolsas de plástico, cada una a una profundidad de muestreo distinta. De octubre de 2006 a octubre de 2007 se muestreó también el suelo bajo la copa del olivo con el mismo procedimiento. En estos casos se recogen un total de 16 submuestras por árbol que se agrupan de modo que quedan cuatro bolsas de plástico por cada subparcela, 2 posiciones x 2 profundidades. Estas muestras de suelo son analizadas en el Departamento de Ecología de la Universidad de Jaén.

Tabla 3.2. Calendario de muestreo para la determinación de formas de nitrógeno.

MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	POSICIÓN DE MUESTREO
1	16 y 17 de Octubre de 2006	Bajo copa y entre calles
2	26-27 de Febrero y 2 de Marzo de 2007	Bajo copa y entre calles
3	24 al 26 y 28 de Mayo de 2007	Bajo copa y entre calles
4	10 y 11 de Octubre de 2007	Bajo copa y entre calles
5	26-27 de Febrero y 3 de Marzo de 2008	Entre calles
6	26 y 27 de Mayo de 2008	Entre calles

VALOR NUTRITIVO DE LA CUBIERTA VEGETAL

El valor nutritivo de la cubierta vegetal se muestrea para todas las subparcelas antes de proceder a la incorporación de la cubierta, aprovechando el muestreo de la biomasa vegetal producida (Capítulo 4). Se recoge una muestra de 1 kg, de manera aleatoria lanzando el marco de muestreo (0,25m²) las veces necesarias hasta conseguir el peso deseado. Las muestras se colocan dentro de sobres de papel que a su vez van dentro de bolsas de plástico para que no se deterioren. Las muestras se llevan rápidamente al Laboratorio Agroalimentario de la Consejería de Agricultura y Pesca en Atarfe (Granada) para su análisis. Los parámetros determinados son, cenizas brutas, fibra bruta, grasa bruta, humedad, proteína bruta, calcio y fósforo. Durante los tres primeros años de estudio se determina el valor nutritivo de las cubiertas antes del primer control, en el mes de abril, mientras que para los tres últimos años se determinan estos parámetros también antes del segundo control de las cubiertas (junio).

VALOR FERTILIZANTE EN NITRÓGENO DE LA CUBIERTA

Para establecer el valor fertilizante en N, se utiliza el dato de la proteína bruta de cada cubierta vegetal obtenido a través del análisis del valor nutritivo del pasto. El valor de la proteína se obtiene al multiplicar el nitrógeno presente en las muestras por 1/6,25 que es el valor de conversión de este elemento en proteína (Jarrige, 1989). El valor fertilizante de cada cubierta se calcula utilizando el dato de la cantidad de nitrógeno presente y la biomasa producida por cada cubierta.

RELACIÓN C/N DE LA CUBIERTA

Aprovechando el muestreo para la determinación de la biomasa (Capítulo 4), una vez separadas las leguminosas naturales de la veza y de las arvenses para cada tratamiento, estas muestras se envían al Departamento de Ecología de la Universidad de Jaén para la determinación del porcentaje de carbono y nitrógeno de cada fracción de la cubierta, y se obtiene así, la relación C/N para cada tratamiento, antes del primer y segundo control de la cubierta en la primavera de 2007.

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

En primer lugar, se comprueba que todos los grupos de datos correspondientes a las distintas variables y fechas de muestreo cumplen con los supuestos del análisis de la varianza, esto es, normalidad, aditividad, homocedasticidad y distribución aleatoria de los residuos. En segundo lugar, se procede analizando los datos a través de un ANOVA con un diseño en bloques completamente aleatorizado (Anexo 0) para cada fecha de muestreo de forma independiente con el programa Statistix 8. Todos los resultados se pueden consultar en el Anexo 3.A. Algunos de los indicadores evaluados han sido recogidos durante varias fechas de muestreo, por lo que se analizan los datos de forma conjunta a través de un ANOVA combinado en parcelas divididas. El programa Statistix permite insertar el modelo utilizando el esquema del diseño en Split-plot, o bien mediante un ANOVA general, donde los términos se introducen manualmente. Se incluyen en el análisis combinado todos aquellos experimentos (años distintos) que cumplan con la homogeneidad de las varianzas del error de cada experimento individual. Para evaluar la posibilidad de combinar los distintos errores se utiliza la distribución F de Fisher cuando se quieren combinar dos años distintos y Chi-cuadrado para series de más de dos años o meses. El análisis combinado permite examinar el efecto de la interacción entre un tratamiento y el año de observación. Esta interacción tiene un claro significado agronómico, y abordamos su estudio a través de una ANOVA general donde se incluye esta interacción como un término del modelo: TRAT BLOQUE FECHA FECHA*TRAT. Esto permite analizar la interacción a lo largo del tiempo, así como la significación de dicha interacción. Las diferencias entre tratamientos se establecen a través de la comparación de medias, a un nivel de significación $\alpha=0,05$, mediante el método de la mínima diferencia significativa (LSD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gracias al análisis físico-químico del suelo al inicio del ensayo, se conoce la situación de partida del suelo, y en base al análisis correspondiente al último año se analizan las diferencias entre tratamientos tras seis años de manejo diferencial (Tabla 3.3). Además, gracias al muestreo

estratificado del suelo en enero de 2009, se muestran en la Tabla 3.4, las diferencias estadísticas entre tratamientos para los parámetros evaluados a distintas profundidades. Hay parámetros cuyos valores no se diferencian entre tratamientos tras seis años de ensayo, como es el pH, a pesar de haberse incrementado ligeramente en las cubiertas sembradas, o el contenido en carbonatos, que es para todos los tratamientos alto o muy alto. La clasificación textural arroja diferencias, que en cualquier caso no están debidas al manejo diferencial. Se determina un porcentaje de arena significativamente mayor en los suelos desbrozados frente a VI, y un mayor contenido de limo en VI frente a las cubiertas naturales.

Las parcelas de ensayo muestran un nivel muy alto de carbonatos siendo un suelo muy calizo y con una gran concentración de cal activa (Tabla 3.3); este exceso influye en la estructura del suelo, favoreciendo la rápida destrucción de la MO. y contribuyendo al empobrecimiento del suelo en humus. Además bloquea, en formas insolubles, la asimilación de ciertos nutrientes como el hierro o el fósforo, pudiendo inducir carencias en las plantas. El hecho de que se mantengan niveles tan altos de materia orgánica refleja la cantidad y calidad de la biomasa aportada al suelo con la cubierta. Se parte de un contenido de materia orgánica, al inicio del estudio, medio-alto, y al final del ensayo los valores son altos y mayores en las cubiertas sembradas (Tabla 3.3), aunque no aparecen diferencias significativas de 0 a 30 centímetros de suelo. Sin embargo, los resultados del muestreo estratificado (Tabla 3.4) sí muestran diferencias estadísticas entre tratamientos en los primeros 10 centímetros de suelo.

La Tabla 3.4 muestra como los suelos de las cubiertas desbrozadas presentan en el perfil más superficial, en los dos primeros centímetros, un contenido significativamente mayor de carbono orgánico, materia orgánica, coeficiente de intercambio catiónico y nitrógeno total. Por el contrario, a 10 centímetros de profundidad, es el suelo de la cubierta de veza labrada superficialmente el que contiene significativamente más carbono orgánico y materia orgánica frente al tratamiento D y VS. Estas diferencias reflejan la posición en la que permanecen los restos vegetales en respuesta al tipo de manejo. El desbrozado de la cubierta sembrada de veza conlleva que toda la biomasa se acumule en la superficie del suelo, mientras que el laboreo superficial incorpora los restos vegetales en los primeros 10 centímetros. Estos resultados son muy similares a los obtenidos por otros estudios en relación al contenido de carbono orgánico en superficie (Castro *et al.*, 2008). La acumulación de materia orgánica un año tras otro en superficie implica la aparición de un primer horizonte con un contenido de materia orgánica de un 8%, mientras que los suelos en los que se incorpora la cubierta con laboreo contienen en torno a un 4%. Por otro lado, la capacidad total de cambio de un suelo depende del porcentaje de arcilla y de la materia orgánica que contenga, y es indicadora junto a esta última de la fertilidad del suelo. La cubierta natural es la que reduce más el valor de CIC durante el ensayo; el sexto año los suelos labrados presentan un valor significativamente menor de CIC frente a los desbrozados para todo el perfil muestreado. En cualquier caso, todos los tratamientos presentan una capacidad media para retener y suministrar nutrientes. Sin embargo, los valores para este parámetro son significativamente mayores para el tratamiento VS en los primeros 5 centímetros de suelo frente a D, estando VI en un lugar intermedio. La relación C/N del suelo no presenta diferencias en sus valores en función del tratamiento (Tabla 3.4), y en todos los suelos presentan un valor normal a bajo. Los mayores valores medios para este parámetro los presenta la cubierta desbrozada en los primeros 2

centímetros de suelo y la cubierta de veza labrada para los primeros 10 centímetros. Estos valores reflejan la rápida mineralización de la materia orgánica en las condiciones del estudio y un nivel medio-bajo de fertilidad.

El contenido de nitrógeno total para todo el perfil (0-30 cm) no refleja diferencias entre tratamientos para el último año de ensayo, manteniéndose los valores en un nivel de bajo a medio. Sin embargo, para los dos primeros centímetros de suelo, el tratamiento desbrozado presenta un significativo mayor contenido de nitrógeno total frente a las cubiertas labradas; además, este valor para VS es alto en relación a un mayor contenido de materia orgánica a esta profundidad. En cuanto al potasio de cambio, principal reserva de la que dispone la planta, su aumento es claro en los suelos con cubiertas sembradas de veza, siendo en estos tratamientos donde este parámetro dobla su valor respecto al inicio del ensayo (Tabla 3.3), presentando, el sexto año, un contenido significativamente mayor al de las cubiertas espontáneas. En cualquier caso, el contenido de potasio en las cubiertas sembradas ha pasado de ser normal al inicio del ensayo a ser alto a muy alto el sexto año de estudio (Tabla 3.3). El fósforo asimilable es aquel que está de forma disponible para las plantas en la solución del suelo. A iguales cantidades de fósforo en el suelo, los niveles de riqueza en este elemento dependerán fundamentalmente de su textura y contenido en carbonatos, así como del sistema de cultivo. A partir de la bibliografía y de los valores de fósforo asimilable encontrados para cada tratamiento, se puede decir que los suelos presentan un nivel medio-bajo durante la primera mitad del ensayo, y a final del mismo no se dispone de este dato.

Los resultados analíticos para la determinación de calcio de cambio indican que el suelo está saturado de este catión. Si el suelo se encuentra saturado, el coeficiente Ca/Mg será alto. Un exceso de Ca^{++} cambiante puede interferir en la asimilación del Mg^{++} y del K^+ . Según Fernández-Escobar (2008) es frecuente en parte del olivar andaluz la existencia de deficiencias en potasio aún en suelos ricos en este elemento, a causa de la elevada presencia de calcio y cal activa. Por otra parte, existe riesgo de carencia de Mg no por falta de este elemento en el suelo sino por exceso proporcional de K ya que el coeficiente K/Mg se aproxima a 0,5. La determinación del Na es importante ya que indica el estado de salinidad del suelo; según los resultados numéricos obtenidos y tomando los valores citados en la bibliografía, en ninguna de las parcelas experimentales existen problemas de salinidad.

En relación a los parámetros físico-químicos de la Tabla 3.4, destacan los valores de densidad aparente calculados para los primeros 30 cm de suelo. Estos valores de densidad se encuentran en torno a 1,3, mientras que entre los 15 y 25 cm de profundidad, aumenta la densidad aparente, superando el límite de 1,5 que indica la bibliografía como crítico para suelos franco-arcillosos (Urbano Terrón, 1992; Porta *et al.*, 2003). Por encima de este valor se produce una reducción del oxígeno presente en el suelo por la disminución de la porosidad, dificultando el crecimiento de las raíces y reduciendo la capacidad de retener agua así como la actividad biológica del suelo. El análisis estadístico de los datos de densidad en función de la profundidad de forma individual a través de un ANOVA con un diseño en bloques al azar se concluye que no existen diferencias significativas entre tratamientos para cada una de las profundidades muestreadas (Tabla 3.4). Sin embargo, el análisis conjunto de los datos a través de un ANOVA factorial revela diferencias significativas entre profundidades (Tabla 3.5).

Tabla 3.3. Parámetros físico-químicos del suelo por tratamiento y fecha de muestreo.

	VEZA INCORPORADA				CUBIERTA ESPONTÁNEA				VEZA DESBROZADA			
	Nov/03	Nov/04	Oct/05	En/09	Nov/03	Nov/04	Oct/05	En/09	Nov/03	Nov/04	Oct/05	En/09
Carbonatos (%)	46,4	37,4	48,6	43,91	44,2	39,1	41,2	40,83	43	34,9	52	42,56
Materia orgánica oxidable (%)	2,41	1,91	2,34	3,09	2,81	1,99	2,69	2,81	2,91	1,97	2,27	3,39
CIC (meq/100g)	12,61	13,91	13,04	13,31B	17,39	14,78	14,35	12,58B	14,35	13,70	11,30	15,11A
pH 1 / 2.5	7,9	7,9	7,9	8,32	7,9	7,9	8,0	8,36	7,8	7,9	8	8,36
Potasio de cambio (meq/100g)	0,409	0,46	0,409	0,94A	0,716	0,384	0,358	0,59B	0,563	0,409	0,307	1,04A
Nitrógeno total (%)	0,165	0,156	0,17	0,22	0,211	0,184	0,186	0,20	0,194	0,157	0,171	0,23
Textura arcilla (%)	21,40	22,45	28,7	25,23	21,15	23,55	23,35	27,3	23,95	22,7	18,05	23,98
Textura arena (%)	36,69	36,13	36,5	34,56B	38,75	34,48	34,24	36,3AB	36,99	39,08	38,56	36,85A
Textura limo (%)	41,91	41,42	34,8	40,21A	40,10	41,97	42,41	36,42B	39,06	38,22	43,39	39,1AB
Clasificación	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr
Sodio de cambio (meq/100g)	0,070	0,378	0,091	-	0,83	0,383	0,087	-	0,074	0,372	0,091	-
Magnesio cambio (meq/100g)	0,813	0,915	0,865	-	1,275	1,063	0,885	-	1,196	0,94	0,75	-
Caliza activa (%)	13,15	12,6	11,95	-	11,70	12,7	9,38	-	11,75	12,9	13,1	-
Fósforo asimilable (ppm)	12	7	11	-	19	10	16	-	18	8	10	-
Potasio asimilable (ppm)	150	175	205	-	265	145	215	-	210	150	175	-

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 3.4. Parámetros físico-químicos del suelo por tratamiento y profundidad en 2009.

	A 2 CENTÍMETROS			A 10 CENTÍMETROS			A 30 CENTÍMETROS		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
Carbonatos (%)	39,27	41,75	39,47	42,52	41,3	43,32	52,45	39,42	47,67
Carbono orgánico (%)	2,5B	2,2B	4,65A	2,025A	1,62AB	1,35B	0,85	0,95	0,875
Materia orgánica oxidable (%)	4,32B	3,8B	8,02A	3,47A	2,82AB	2,35B	1,5	1,62	1,5
CIC (meq/100g)	15,1AB	13,02B	18,57A	13,67	12,7	13,9	10,62	11,42	11,95
pH 1 / 2,5	8,17	8,27	8,17	8,3	8,35	8,37	8,52	8,52	8,52
Potasio de cambio (meq/100g)	1,22	1,02	1,32	1,02	0,58	1,11	0,542	0,17	0,505
Nitrógeno total (%)	0,31B	0,27B	0,507A	0,22	0,207	0,17	0,11	0,122	0,11
Textura arcilla (%)	27,9	26,92	21,3	25,15	28,57	23,6	22,82	25,17	24,37
Textura arena (%)	33,27	34,45	31,82	33,82	38,22	37,95	36,12	37,75	40,57
Textura limo (%)	38,85	38,67	46,87	41,075	33,22	38,5	41,07	37,07	35,1
Densidad aparente (Mg/m³)	1,22	1,15	1,25	1,35	1,2	1,32	1,408	1,525	1,428
Relación C/N	8,05	8,07	8,97	9,67	8,02	8,05	8,025	7,92	7,77

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 3.5. Valores medios de densidad aparente del suelo (Mg/m^3) para las cubiertas ensayadas a distintas profundidades.

Profundidad (cm)	VI	D	VS	Significación
0-2	1,218	1,156	1,231	C
2-5	1,230	1,176	1,238	C
5-10	1,314	1,196	1,341	B
10-15	1,334	1,409	1,383	A
15-30	1,390	1,521	1,419	A

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA general (profundidad*tratamiento), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Se pueden diferenciar tres zonas con compactaciones significativamente distintas en función de la profundidad (Tabla 3.5) alcanzando una compactación significativamente mayor a partir de los 10 centímetros justo por debajo de la profundidad de laboreo. El laboreo a una misma profundidad año tras año provoca compactación de la base (Porta, 2003). Esta situación se agrava por la presencia del horizonte petrocálcico. La compactación del suelo también se agrava debido al pase de maquinaria pesada, sobre todo si el suelo está húmedo; asimismo, los procesos de desecación-humectación, y los periodos largos de sequía endurecen el suelo. Por otro lado, el perfil del suelo que presenta una mayor cantidad de materia orgánica y donde las plantas desarrollan sus raíces son los que presentan valores de densidad aparente significativamente menores. Los tratamientos en que se siembra la cubierta con veza, presentan una compactación ligeramente mayor en los primeros 10 cm, pero amortiguan la compactación en profundidad. Por otro lado, la cubierta testigo posee una ligera menor compactación hasta los 15 centímetros de profundidad; el suelo mantiene una estructura más suelta, más porosa, pero de 15 a 30 cm alcanza los mayores valores de densidad aparente.

Varios son los indicadores que confirman la delgadez del suelo, a la vez que reflejan problemas de compactación (Foto 3.1). Por un lado, las raíces muestreadas en todas las cubiertas no superan los 15 centímetros de profundidad en ningún caso, mientras que la bibliografía apunta para estas especies profundidades medias muy superiores, por ejemplo el caso de crucíferas y rosetas bianuales (Foto 3.2).

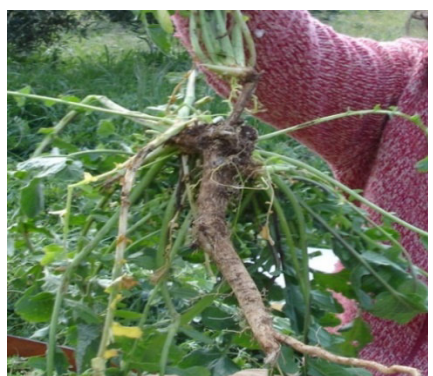


Foto 3.1:
Encharcamiento superficial en una rodera. Foto 3.2:
Raíz de
Hirschfeldia incana, la más profunda, hasta 20 cm.

También el estudio del grupo de microbiología revela resultados significativamente distintos de 10 a 15 cm reduciéndose la actividad biológica del suelo de manera notable. En cuanto al grupo que estudia la fertilización del suelo, en su muestreo sobre lixiviados aprecian la falta de

movimiento de agua de forma vertical; este hecho junto a la presencia de un horizonte petrocálcico más o menos heterogéneo y la pendiente suave de las parcelas, propician movimientos de agua subsuperficiales. La escorrentía subsuperficial contribuiría a la compactación del suelo tal como una suela de labor. Por otro lado, la existencia de una suela de labor a esta profundidad concuerda también con el hecho de que la incorporación de la cubierta al suelo se ha realizado a 7-10 cm con cultivador. En cuanto a la labor con desbrozado, también provoca compactación; aunque a pesar de que este manejo compacta el suelo en los primeros centímetros, parece amortiguar la compactación en profundidad.

CONTENIDO DE NITRATOS Y AMONIO DEL SUELO

El análisis del contenido de formas de nitrógeno asimilables por la planta, es medida indirecta del proceso de mineralización de la materia orgánica y de la actividad microbiana del suelo. En primer lugar, para una mejor interpretación de los resultados (Tabla 3.6), es importante destacar algunos resultados obtenidos en el estudio que llevó a cabo el grupo del Departamento de Ecología de la Universidad de Jaén durante 2007 y 2008 en el mismo olivar de ensayo (Gráfico 3.1). Los autores determinan que el suministro anual acumulado de N disponible desde el suelo y en la superficie bajo la copa del olivo osciló entre 12 y 62 Kg de N (120 o 160g de N/árbol) y entre las calles unos 40-171 Kg de N/ha. Lo que implica un suministro de N mayor al que se extrae con la cosecha en el olivar de estudio.

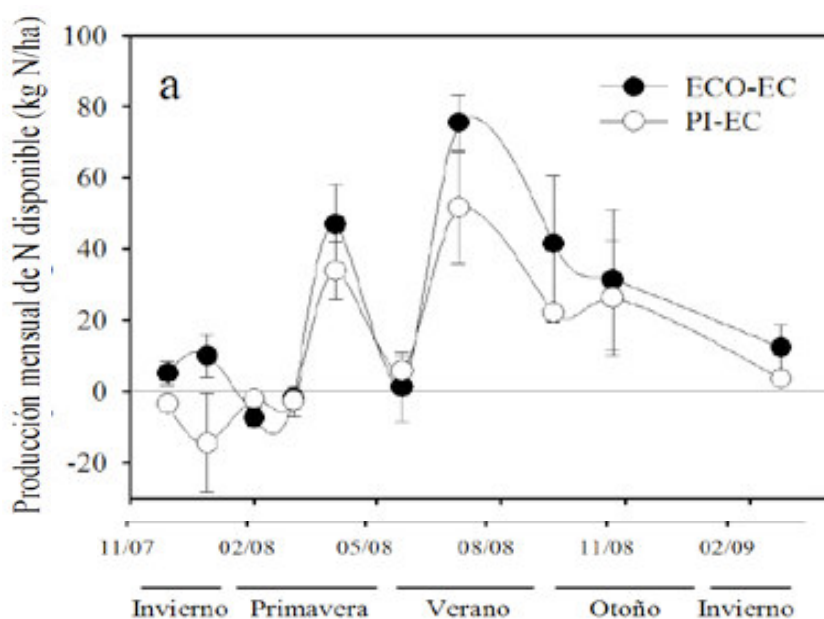


Gráfico 3.1. Cantidad de N disponible (nitrato + amonio) producido por mineralización/nitrificación neta en el suelo (10 cm) entre calle en la parcela de olivar ecológico (ECO) y de producción integrada (PI) en Deifontes (García-Ruiz *et al.*, 2011).

Las necesidades del olivo en nitrógeno son importantes desde mediados de primavera hasta principios de verano, y en menor proporción durante las primeras semanas de otoño (García-Ruiz *et al.*, 2011). Asimismo, los periodos de parada edáfica en condiciones semiáridas se corresponden con el verano por falta de agua y con el invierno por las bajas temperaturas.

La Tabla 3.6 recoge los resultados obtenidos para el contenido en el suelo de amonio y nitrato, en otoño, inicio de primavera y final de primavera, en función del tratamiento. De forma general, se observa una mayor cantidad de nitrógeno disponible en el suelo en otoño que en primavera, y bajo copa que entre calle, así como en los primeros 5 centímetros de suelo frente

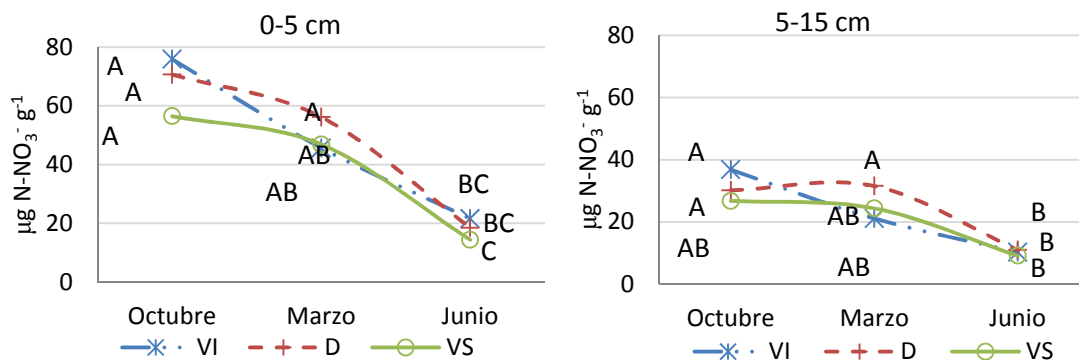
al perfil más profundo (Tabla 3.6). Las diferencias encontradas entre tratamientos según la fecha de muestreo se concentran en el mes de mayo entre calles, lo que denota una distinta dinámica del nitrógeno en función del tipo de cubierta y manejo para su control.

Tabla 3.6. Contenido de amonio y nitratos en el suelo ($\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ g}^{-1}$ y $\mu\text{g N-NO}_3^- \text{ g}^{-1}$).

		BAJO COPA 0 - 5 CM.		BAJO COPA 5-15 CM.		ENTRE CALLE 0-5 CM.		ENTRE CALLE 5-15 CM.	
		NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-
Octubre 2006	VI	6,23	379,7	5	222,7	9,2	62,65	3,97	32,62
	D	12,25	301,53	5,12	280,63	8,85	65,12	4,7	31,85
	VS	11,72	294,75	3,47	273,2	7,17	56,42	3	23,42
Febrero-Marzo 2007	VI	0,15	55,57	0,075	48,55	0,25	63,62	0,3A	30
	D	0,47	62,77	0,075	59,8	0,075	84,52	0,1B	48,92
	VS	0,1	68,22	0,05	30,65	0,075	63,27	0,025B	32,07
Mayo 2007	VI	2,72	42,17	4,12	35,35	4,45	29,67	3,27	18,97A
	D	3,57	39,22	4,3	35,45	4,1	27,82	4,35	15,9AB
	VS	6,9	40,07	7,75	34,1	5,375	29,8	3,57	12,1B
Octubre 2007	VI	6,67	258	4,25	190,55	5,3	75,77	5,37	40,9
	D	4,87	253,5	4,72	166,4	6,3	76,12	6,07	28,45
	VS	6,02	184,63	5,325	196,08	5,25	56,5	4,87	30,07
Marzo 2008	VI					-	27,65	-	12,23
	D					-	27,76	-	14,12
	VS					-	30,44	-	16,65
Mayo 2008	VI					5,98AB	38,57	3,03	15,53
	D					4,78B	33,18	2,03	18,21
	VS					8,63A	24,17	2,61	14,77

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 3.2 y 3.3. Contenido de nitratos en el suelo a distinta profundidad (2006-2008)

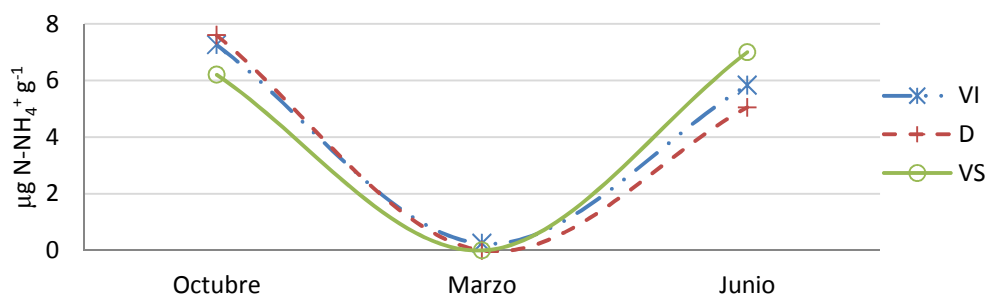


VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA general (fecha*tratamiento), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Si se observa la evolución del contenido de nitratos de otoño hasta final de primavera (Gráfico 3.2 y 3.3), el contenido de nitratos en el suelo es significativamente mayor en otoño que a final de primavera para todo el perfil de suelo muestreado y todos los tratamientos, con valores máximos en los cinco primeros centímetros de suelo. Además, mientras que los valores se reducen de forma más acentuada a partir del mes de marzo en los tratamientos D y VS, en el tratamiento VI esta reducción sucede de forma más acentuada durante el otoño-invierno para todo el perfil de suelo muestreado. Asimismo, es en la cubierta desbrozada donde el contenido de nitratos suele ser inferior en otoño en relación a las cubiertas labradas, aunque estas diferencias no son significativas (Gráficos 3.2 y 3.3).

Por otro lado, la mineralización de la materia orgánica se produce en primavera y en otoño, siendo en la época primaveral cuando encontramos los valores más bajos de estas formas minerales de nitrógeno debido a la inmovilización por parte de los microorganismos y de la actividad del olivar y la cubierta. Esta mayor demanda está sincronizada con la oferta, ya que entre el 47 y el 66% de todo el nitrógeno disponible se produjo en primavera (García-Ruíz *et al.*, 2011). El significativo mayor contenido de nitratos en las cubiertas de veza labrada en mayo de 2007 en el perfil más profundo indica que la incorporación de la cubierta sembrada en el suelo favorece la mineralización de los restos vegetales y pone a disposición del cultivo más nitratos. Sin embargo, existe un mayor riesgo de lixiviación de nitratos hacia perfiles más profundos del suelo, ya que la cubierta es escasa y llueven hasta 82 mm desde la eliminación hasta el segundo control de la cubierta. En la misma fecha (mayo de 2007) el contenido de nitratos es significativamente inferior en las cubiertas desbrozadas en el perfil más profundo, ya que las plantas presentes entre el primer y segundo control de la cubierta siguen utilizando este nutriente, además, junto a la abundancia de raíces profundas (en torno a 15 cm) se limita su lixiviación hacia horizontes más profundos.

Gráfico 3.4. Contenido de amonio en el suelo de 0 a 5 centímetros de profundidad.

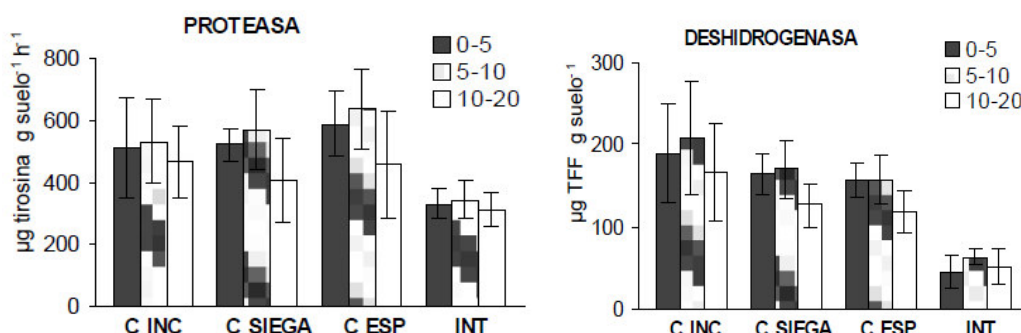


VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA general, diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El Gráfico 3.4 refleja un mayor contenido de amonio en las cubiertas desbrozadas antes del segundo control frente a las labradas, y en otoño sucede lo contrario. Esto denota que los tratamientos labrados presentan un proceso de mineralización más rápido y completo en primavera frente a los suelos desbrozados que tras el primer desbroce producen más amonio y menos nitrato por la naturaleza y posición de los restos vegetales que en primera instancia son descompuestos por hongos y macrofauna del suelo no llegando a oxidar completamente el nitrógeno orgánico. Por otro lado, la mayor relación C/N de las cubiertas labradas, sobre todo la natural, implicaría mayores procesos de inmovilización del amonio en las arcillas y formando

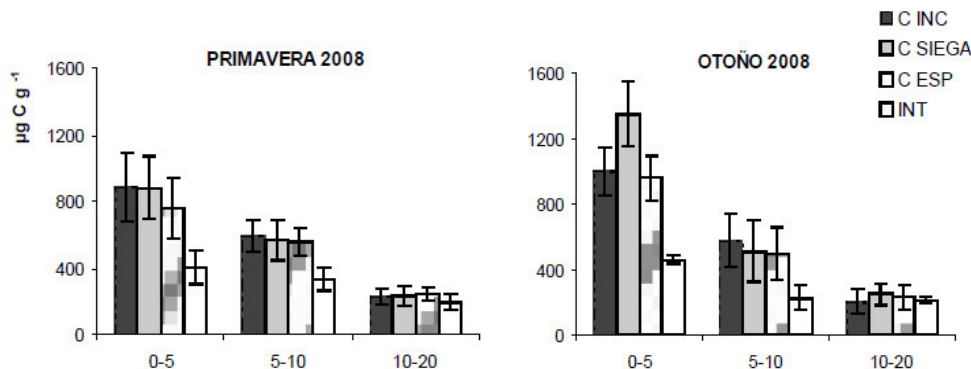
parte de los microorganismos del suelo. En cualquier caso, en el tratamiento VS, tanto el nitrato como el amonio siguen siendo consumidos por la vegetación presente entre controles y en menor cantidad en otoño, cuando también son necesarias para la actividad biológica. El mayor contenido de amonio se corresponde con las épocas de menor demanda del cultivo y mayor actividad de los microorganismos (Gráficos 3.5 y 3.6). En este sentido, los Gráficos 3.5 y 3.6 son parte de los resultados obtenidos por el grupo del Área de Producción Ecológica del IFAPA las Torres-Tomejil durante el quinto año de estudio sobre las mismas parcelas del olivar de ensayo en relación a la actividad microbiana del suelo en función del manejo.

Gráfico 3.5 y 3.6. Actividades enzimáticas proteasa (μg tirosina/ g suelo seco y hora) y deshidrogenasa (μg trifenílformazan/ g suelo seco) según tratamiento y a distinta profundidad.



CINC: Veza labrada (VI); CSIEGA: veza desbrozada (VS); CESP: cubierta natural labrada (D); INT: producción integrada. (Herencia, 2011)

Gráficos 3.7 y 3.8. C de la biomasa microbiana (μg de Carbono/ g suelo) en los diferentes tratamientos y a distintas profundidades en Primavera y Otoño de 2008. (Herencia, 2011).



CINC: Veza labrada (VI); CSIEGA: veza desbrozada (VS); CESP: cubierta natural labrada (D); INT: producción integrada.

La mayor inmovilización del amonio en las parcelas labradas en el mes de mayo de 2008 (Tabla 3.6) de 0 a 5 cm, reflejan una gran actividad microbiana debida a los procesos de mineralización iniciados al incorporar la cubierta superficialmente en el suelo en el mes de abril. La menor presencia de amonio en las parcelas labradas en primavera es reflejo de la rápida mineralización de la materia orgánica. Este hecho concuerda con una mayor actividad oxidativa, actividad deshidrogenasa en los tratamientos con cubierta de veza incorporada, y una mayor actividad proteasa en la cubierta natural en los primeros 10 cm (Gráfico 3.5 y 3.6).

Un abono verde de calidad incorporado en los primeros 10 centímetros de suelo, es capaz de liberar más nitrógeno mineral rápidamente tras el primer control, momento de mayor necesidad del cultivo. Las cubiertas labradas promueven la rápida mineralización de la materia orgánica debido a una mayor aireación, mayor relación C/N de los residuos y mayor humedad tras el primer control de la cubierta, en el mes de mayo. En cambio, en la cubierta desbrozada, la demanda e inmovilización de amonio y nitratos por parte de la cubierta y del suelo es mayor durante un periodo de tiempo más largo. Esta dinámica en el tratamiento VS hace protagonista a los procesos de amonificación frente a los de nitrificación en los primeros centímetros. En esta cubierta, la materia orgánica queda en superficie, por lo que los procesos de descomposición debidos a la macrofauna y a los hongos del suelo son muy importantes, sin embargo la falta de contacto de la biomasa con las bacterias del suelo, ralentizan el proceso de mineralización, además de quedar expuesto el nitrógeno a procesos de volatilización. Ghidry & Alberts (1993) encuentran que los residuos de las plantas que permanecen sobre la superficie del suelo presentan una mineralización más lenta que cuando se incorporan en los primeros centímetros del suelo. En los suelos con cubierta de veza desbrozada, el nitrógeno disponible es utilizado por la fauna edáfica y la vegetación subterránea durante todo el año ya que el suelo no se mueve, con lo que las relaciones entre los organismos del suelo y las raíces de las plantas son más estables y complejas. En cualquier caso, el proceso de mineralización se verá comprometido por la falta de humedad a partir del mes de julio en todos los tratamientos. En este sentido, la mayor disponibilidad de formas de nitrógeno en los meses de verano debería estar acompañada de algunas lluvias para propiciar que este proceso no se frene. Rápidamente, entrado el otoño se recupera la actividad microbiana, y de nuevo es en las cubiertas segadas donde se inmoviliza más nitrógeno. La mayor complejidad de la cubierta y el suelo desbrozados supone una mayor demanda de nutrientes en otoño, cuando la actividad biológica del suelo se encuentra en su óptimo de humedad y temperatura. También en otoño, se produce una mayor inmovilización de estas formas minerales en los órganos invernantes de las plantas bienales y perennes, o en las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico ya sea de forma simbiótica (raíces) como en el suelo. Los suelos labrados presentan una menor actividad biológica en otoño frente al suelo desbrozado (Gráfico 3.7 y 3.8). Otro ejemplo de la continua actividad biológica en los cinco primeros centímetros de suelo de las cubiertas desbrozadas, es que están llenos de lombrices y larvas de escarabajo pasando el invierno bajo tierra junto a las raíces carnosas de las rosetas, todo esto implica inmovilización de nitrógeno y producción de amonio por los procesos de descomposición de la materia orgánica tanto vegetal como animal, que se ve acelerada en el mes de mayo, tras la eliminación de la cubierta.

RELACIÓN C/N DE LA CUBIERTA

El contenido de carbono y nitrógeno de las distintas cubiertas vegetales ensayadas ayuda a comprender cómo afecta su relación C/N al proceso de descomposición de la materia orgánica, y por tanto relacionarlo también con la fertilidad general del suelo. El contenido de carbono de las cubiertas se encuentra sobre el 40%, tanto antes del primer como del segundo control de las cubiertas, sin embargo, en el mes de junio este porcentaje es significativamente mayor en las cubiertas desbrozadas tanto para la fracción vegetal correspondiente a las arvenses como a la de las leguminosas silvestres (Tabla 3.7). En el mes de abril, la relación C/N de la vegetación arvense es mayor para la cubierta natural, seguida de la cubierta sembrada e incorporada. A

pesar de que son las cubiertas labradas las que acumulan más carbono antes del primer control de la cubierta, son las desbrozadas las que capturan anualmente una mayor cantidad de carbono de forma general, ya que entre los dos controles de la cubierta este tratamiento es el que produce una mayor cantidad de biomasa fresca y seca (Capítulo 4).

Tabla 3.7. Porcentaje de Carbono y Nitrógeno contenido en las distintas fracciones de la cubierta antes del primer y segundo control de la cubierta en 2007.

		Arvenses			Leguminosas naturales			Veza		
		VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
ABRIL	%C	41,7	42,0	41,3	41,0	41,4	41,3	41,3	-	41,3
	%N	1,9	1,9	2,2	3,3	3,4	3,5	3,4	-	3,5
	C/N	21,7AB	22,7A	18,6B	12,6	12,3	11,9	12,3	-	11,8
JUNIO	%C	40,1 B	40,7 AB	41,7 A	41,6 AB	41,3 B	42,4 A	21,7	-	20,7
	%N	3,4 A	3,1 A	2,1 B	3,3 A	2,8 B	2,4 B	1,8	-	1,4
	C/N	11,9 B	13,2 B	20,0 A	12,8 C	15,0 B	17,7 A	6,0	-	7,2

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Si se trasladan los valores porcentuales a la biomasa producida por cada cubierta, se obtiene el contenido en Kg de C/ha. La fracción de la cubierta que contiene una mayor cantidad de carbono antes del primer control de la cubierta es la fracción arvense acumulando entre 1100-1250 Kg C/ha, mientras que las leguminosas silvestres suponen una cantidad de 37 a 64 Kg de C/ha, y la fracción de veza sembrada contiene entre 50 y 64 Kg de C/ha, sin diferencias estadísticas entre tratamientos para ninguna de ellas. El porcentaje de nitrógeno contenido en la cubierta vegetal es significativamente mayor en la fracción arvense en las cubiertas labradas frente a la desbrozada, y el porcentaje de nitrógeno contenido en las leguminosas silvestres es significativamente superior en el tratamiento VI antes del segundo control. El mayor aporte de N por parte de las cubiertas sucede en abril a cargo de la fracción vegetal de las arvenses que acumulan entre 51 y 68 Kg de N/ha, mientras que los valores de nitrógeno contenido en las leguminosas silvestres y en la veza sembrada son similares, entre 4 y 5 Kg de N/ha, registrándose el menor valor para las leguminosas silvestres con 3,1 Kg de N/ha. La relación C/N de la vegetación arvense durante la primavera es reflejo del estado fenológico en el que se encuentran las cubiertas antes del primer y segundo control. De este modo, en el mes de abril, las cubiertas labradas presentan una mayor proporción carbono ya que los grupos de floración temprana más abundantes se encuentran en fruto y madurez, además de tratarse de familias como las crucíferas con tejidos más lignificados, mientras que en las cubiertas desbrozadas en esta fecha la cubierta está más verde. Según Monnier (1989), el potencial de humificación depende de la naturaleza de la materia seca aportada, cuanto más rica en lignina es, más humus produce y cuantos más azúcares, celulosa y compuestos nitrogenados posee, más rápidamente se mineraliza y menos humus genera.

VALOR NUTRITIVO DE LAS CUBIERTAS

Las mayores diferencias entre tratamientos para el valor nutritivo de las cubiertas se dan antes del segundo control de la vegetación, en junio-julio (Tabla 3.8). En el mes de abril, las mayores diferencias suceden para la fibra bruta y la proteína bruta, sin embargo el sexto año estas diferencias también se presentan para el contenido de calcio y cenizas brutas. El porcentaje de

cenizas brutas de las cubiertas se mantiene entorno al 10 % durante los años de estudio, y aumenta los años en que la cubierta contiene menos humedad, como el segundo.

Tabla 3.8. Contenido medio de nutrientes en las distintas cubiertas ensayadas (% p/p).

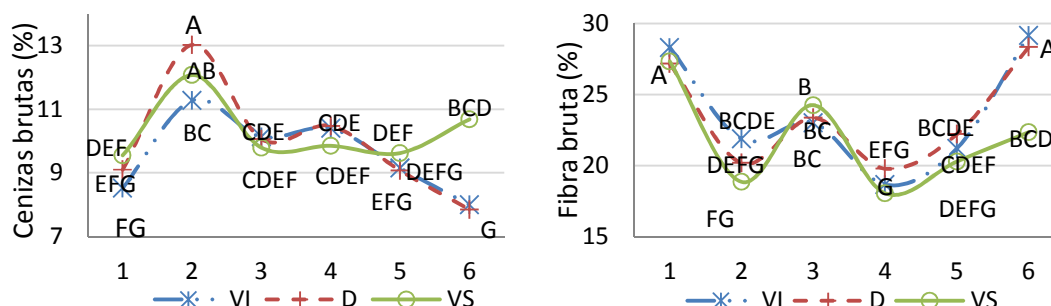
			CENIZAS B	FIBRA B.	GRASA B.	PROTEINA B.	CALCIO	FOSFORO
ABRIL	2003-2004	VI	8,52 B	28,30	1,84	13,51	0,76	0,26
		D	9,09 AB	27,17	1,95	13,18	0,70	0,28
		VS	9,55 A	27,33	1,92	15,51	1,09	0,25
ABRIL	2004-2005	VI	11,27	21,87 A	1,45	15,4	-	-
		D	13,02	20,17AB	1,8	15,18	-	-
		VS	12,07	18,85 B	1,7	17,36	-	-
ABRIL	2005-2006	VI	10,13	23B	1,75	13,70	3,46	0,29
		D	10,06	23,35AB	1,7	12,34	3,28	0,30
		VS	9,79	24,25A	1,82	12,24	2,87	0,29
ABRIL	2006-2007	VI	10,4	18,65	2,25	15,92 A	1,67	0,17
		D	10,47	19,77	2,05	11,72 C	1,50	0,17
		VS	9,85	18,05	2,17	13,77 C	1,58	0,20
ABRIL	2007-2008	VI	9,15	21,2	2,7	10,84	1,39	0,19
		D	9,07	22,2	2,67	11,15	1,40	0,20
		VS	9,62	20,27	2,77	12,40	1,35	0,20
ABRIL	2008-2009	VI	8 B	29,15 A	1,72	13,00 A	1,26AB	0,24
		D	7,85 B	28,33 A	2,2	9,71B	1,13B	0,26
		VS	10,68 A	22,35B	2,25	10,73 AB	1,72A	0,27
JUNIO	2006-2007	VI	12,38	22,01B	-	14,11 A	1,94	0,62
		D	10,68	26,41 A	-	10,99 B	1,64	0,59
		VS	9,79	25,02AB	-	11,60 B	1,90	0,61
JUNIO	2007-2008	VI	14,11 A	20,12B	2,45	18,8 A	2,32 A	0,45
		D	11,87AB	22,17B	2,37	16,80 B	1,79 AB	0,42
		VS	8,87 B	25,85A	2,47	11,93 C	1,16 B	0,40
JUNIO	2008-2009	VI	12,48	27,6	-	15,25 A	1,93	0,26
		D	13,90	27,56	-	12,54 AB	1,63	0,31
		VS	9,40	27,07	3,02	10,37 B	1,60	0,24

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Los años con mayor precipitación, las cubiertas desbrozadas presentan un contenido significativamente mayor de cenizas brutas, frente a las cubiertas labradas el sexto año, y frente a la cubierta de veza labrada el primero (Tabla 3.8 y Gráfico 3.9). La cubierta desbrozada es la que contiene más componentes minerales, lo que guarda relación con una mejor estructura del suelo, una buena disponibilidad de nutrientes y sistemas radiculares más potentes que contribuyen a enriquecer el pasto. Por otro lado, el contenido de fibra bruta es mayor los años en que se produce más biomasa debido a una mayor precipitación. Durante los años secos se reduce la importancia relativa de la fibra en la composición nutritiva de las cubiertas para todos los tratamientos. En consonancia con el contenido de cenizas, también el contenido de calcio y fósforo resulta significativamente mayor en VS el sexto año de estudio frente a VI y D (Gráfico 3.11 y 3.12). El mayor contenido en calcio y fósforo alcanza los valores

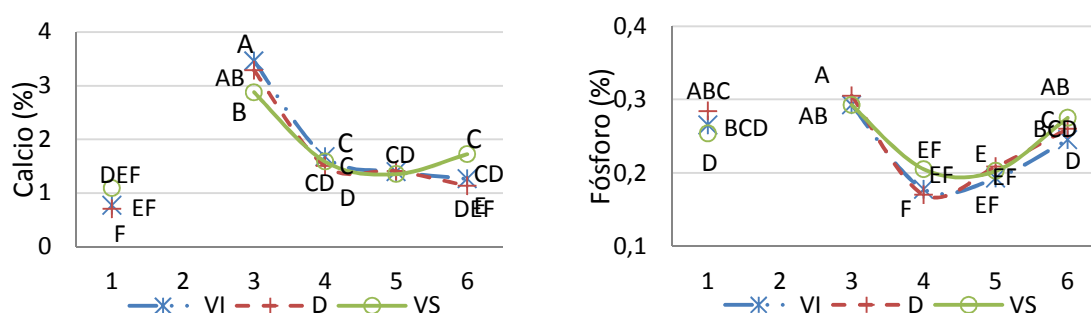
más altos para todas las cubiertas el tercer año de ensayo, y está relacionado con una mayor humedad del suelo en otoño, que sucede el primer, tercer y sexto año de estudio.

Gráfico 3.9, 3.10. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el contenido de cenizas (% p/p) y fibra bruta (% p/p) según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009.



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA general, diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 3.11, 3.12. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el contenido de calcio (% p/p) y fósforo (% p/p) según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009.



ANOVA general, diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). (VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada).

Al analizar los datos de forma conjunta (Tabla 3.9), las cubiertas labradas presentan un significativo mayor contenido de fibra bruta frente a las desbrozadas en el mes de abril (Gráfico 3.10). Este hecho se debe a la distinta composición florística de las cubiertas, que para las labradas es rica en gramíneas y crucíferas de floración temprana.

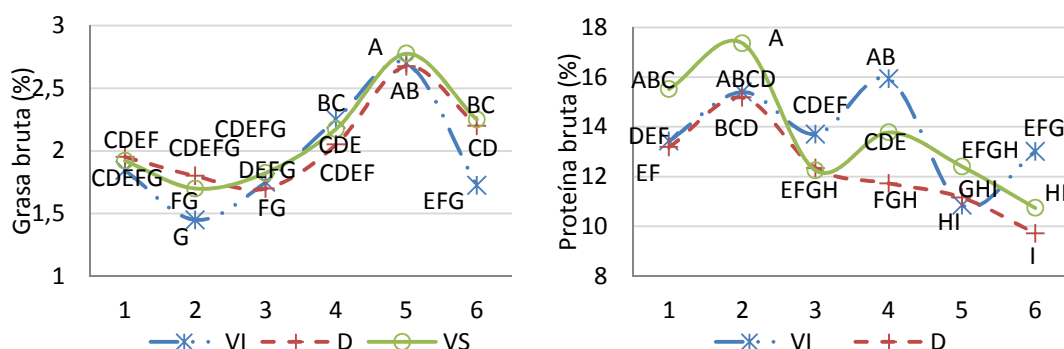
Tabla 3.9. Contenido medio de nutrientes (% p/p) en las distintas cubiertas ensayadas antes del primer y segundo control de 2004 a 2009.

		CENIZAS B.	FIBRA B.	GRASA B.	PROTEINA B.	CALCIO	FOSFORO
ABRIL	VI	9,58 B	23,69 A	1,953	13,72 A	1,71	0,23
	D	9,93AB	23,5 A	2,062	12,21B	1,60	0,245
	VS	10,26A	21,85B	2,10	13,67 A	1,72	0,24
JUNIO	VI	13,16 A	23,32B	1,22 B	16,07 A	2,10 A	0,44
	D	12,15 A	25,38AB	1,18 B	13,44B	1,68AB	0,44
	VS	9,35 B	25,98A	2,75 A	11,30C	1,55B	0,42

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

La grasa bruta aumenta del segundo al quinto año de ensayo (Gráfico 3.13) en todas las cubiertas en el mes de abril, y es el sexto año cuando aparecen diferencias entre tratamientos, siendo VS el que contiene significativamente más grasa bruta que la cubierta de veza labrada, lo que indica un aumento en las cubiertas desbrozadas de las sustancias de reserva de las plantas. Cuando se analizan los datos de forma conjunta, las cubiertas que contienen significativamente más proteína bruta son las sembradas de veza, sin embargo en base a la evolución de la interacción del tratamiento con la fecha (Gráfico 3.14), se observa como el cuarto y sexto año es el tratamiento VI el que contiene significativamente más proteína frente a VS, esto es debido a una mejor implantación de la veza en el primero.

Gráfico 3.13, 3.14. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el contenido de grasa (% p/p) y proteína bruta (% p/p) según el tratamiento ensayado de 2004 a 2009.



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA general, diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Antes del segundo control de la cubierta todos los parámetros evaluados, excepto el fósforo, presentan diferencias estadísticas entre tratamientos cuando se analizan los datos de forma conjunta (Tabla 3.9). Esto es debido a la distinta composición de la cubierta entre controles, siendo VS una cubierta madura, rebrote de la cubierta primaveral, mientras que en las cubiertas labradas, germina una nueva cubierta de periodicidad estival. Por ello, las cenizas brutas son significativamente menos importantes en la cubierta desbrozada frente a las labradas, al igual que el calcio y la proteína bruta, mientras que la fibra bruta es significativamente mayor frente a las de veza labradas. La presencia en las cubiertas desbrozadas de plantas con un ciclo de vida largo, conlleva que en estas fechas, la cubierta presente un alto contenido de sustancias de reserva, lo que se refleja en el significativo mayor valor de grasa bruta frente a las labradas, y superior al que contenía la misma cubierta en abril, antes del primer control.

Resulta de interés comentar en este apartado los resultados obtenidos durante los seis años de estudio, en el marco del Proyecto Diagnóstico del olivar ecológico realizado por el CIFAED en relación al cálculo teórico de la carga ganadera que podrían mantener cada una de las cubiertas ensayadas en base a las raciones de proteína bruta y fibra bruta aportada por el pasto. Los años más secos, la carga ganadera en todas las cubiertas no podía ser superior a 12 ovejas/ha y mes. Sin embargo, los años más húmedos con mayor producción de biomasa, son las cubiertas sembradas las que pueden mantener hasta 40 ovejas/ha y mes en las cubiertas

espontáneas, 50 en las desbrozadas y hasta 60 en las de veza labrada. El factor limitante es siempre la fibra bruta, siendo superiores las raciones de proteína.

VALOR FERTILIZANTE DE LAS CUBIERTAS

La fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas no se ha registrado por la dificultad que entraña su determinación, pero sí se ha realizado un seguimiento visual de la nodulación de la veza en campo, comprobando cada año que existían nódulos activos en las plantas, grandes, abundantes y de color rosa a rojo. Si bien, es cierto que los años con períodos de sequía invernal, aún en el mes de abril, los nódulos eran poco frecuentes y poco activos o estaban resecos. A mayor producción de biomasa, mayor contenido de nitrógeno en la cubierta, aunque las cubiertas sembradas procuran más materia fresca y seca y más proteína por la siembra de la leguminosa en comparación con la cubierta natural. El contenido de nitrógeno de la cubierta está infravalorado por el hecho de que para su determinación se utilizó solamente la parte aérea, sin tener en cuenta el nitrógeno contenido en las raíces de las plantas. En cualquier caso, la cantidad de nitrógeno fijado por parte de las especies leguminosas representaría tan sólo una parte del nitrógeno que aparece en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Valor fertilizante anual medio de las distintas cubiertas ensayadas antes del primer y segundo control (Kg de N/ha).

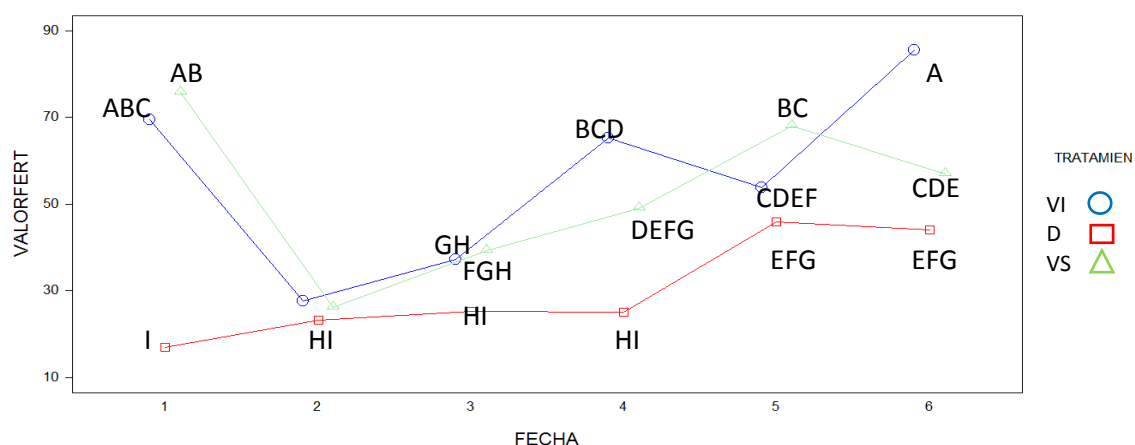
		2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
ABRIL	VI	69,29 A	27,63	37,19	65,22 A	53,86AB	85,54 A
	D	16,98 B	23,31	25,27	25,05 C	45,99 B	44,01 B
	VS	75,71 A	26,15	39,28	49,06 B	68,12 A	57,03AB
JUNIO	VI				3,439B	15,201	2,15 B
	D				2,371B	24,071	2,276 B
	VS				23,187A	14,116	27,81 A

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Incluso para el segundo año, el más seco (176 mm), todas las cubiertas ensayadas son capaces de aportar al suelo tras su eliminación en abril una cantidad de nitrógeno que cubriría la demanda de un olivar con un rendimiento en torno a 5000Kg/ha, muy por encima de sus necesidades durante la primera mitad del ensayo. Los años con una precipitación media bien distribuida o los años húmedos, todas las cubiertas aportan una cantidad de nitrógeno suficiente para un olivar de más de 7000 Kg/ha de rendimiento en aceituna, estos valores implican un aporte de casi el doble de lo que requiere el olivar en los dos últimos años de ensayo. En este contexto, el abono verde más equilibrado lo supone la cubierta espontánea, con valores significativamente menores que los de las cubiertas sembradas de veza (Tabla 3.10). El sexto año en el mes de abril, es la cubierta de veza labrada la que presenta un valor fertilizante significativamente mayor a las cubiertas espontáneas y con un valor de 85,54 Kg de N aportados por hectárea debido a la buena implantación de la veza tras un otoño-invierno húmedo. En este caso concreto esta aportación supone un exceso de nitrógeno que podría tener relación por ejemplo con la presencia de cochinilla en los árboles bajo este tratamiento (observación en campo). Asimismo está documentada la reducción de la calidad del aceite en aquellos olivares sobre fertilizados con N (Fernández-Escobar, 2006).

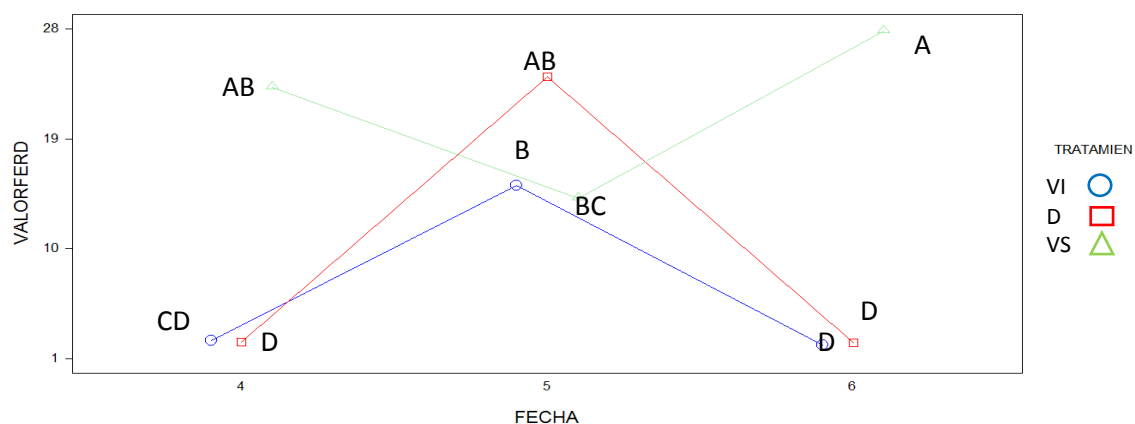
Los años más húmedos o con una precipitación mejor distribuida de otoño hasta la primavera, suponen un mayor flujo de agua en el suelo, que sin duda favorece la mineralización de la materia orgánica y pone a disposición de las plantas una mayor cantidad de nutrientes, lo que a su vez implica una mayor producción de biomasa. Este hecho contribuye a aumentar el valor fertilizante de las cubiertas naturales, a pesar de mantenerse por debajo del de las cubiertas de veza labrada los dos últimos años de ensayo con diferencias significativas (Gráfico 3.15).

Gráfico 3.15. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el valor fertilizante (Kg de N/ha) de las distintas cubiertas de 2004 a 2009 antes del primer control de las cubiertas (abril).



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA general, diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 3.16. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para el valor fertilizante (Kg N/ha) de las distintas cubiertas de 2004 a 2009 antes del segundo control de las cubiertas (junio).



VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA general, diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Antes del segundo control de la cubierta es el tratamiento con veza desbrozada el que de nuevo aporta una media de 21 kg de N por hectárea (Tabla 3.11), con valores significativamente mayores a los del resto de tratamientos, los años con primaveras secas y sin precipitación importante entre controles (Tabla 3.10 y Gráfico 3.16). Sin embargo, cuando llueve suficiente entre abril y junio para permitir la emergencia de la cubierta vegetal también

en los tratamientos labrados, el valor fertilizante de todas las cubiertas se iguala, y es la espontánea la que muestra un mayor valor aunque sin diferencias significativas (Gráfico 3.16).

Tabla 3.11. Valor fertilizante medio de las cubiertas ensayadas (Kg de N/ha).

	VI	D	VS
ABRIL (2003- 2009)	56,515 A	30,105B	52,563 A
JUNIO (2006- 2009)	6,617 B	9,573 B	21,705A

VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

A pesar de que el valor fertilizante de las cubiertas sembradas de veza es significativamente mayor al de las espontáneas, esto no significa que ese mayor contenido de nitrógeno se pueda atribuir exclusivamente a la fijación de nitrógeno por parte de la veza sembrada. En el estudio realizado por el grupo del Departamento de Ecología de la Universidad de Jaén en 2007 y 2008 en el olivar de estudio, determina para las cubiertas espontáneas una fijación biológica del N atmosférico de 20 Kg de N/ha. El contenido de nitrógeno de la cubierta sembrada con veza e incorporada, dependería en mayor medida de la cantidad de veza presente, reduciendo su contenido de nitrógeno a la vez que se reduce la densidad de veza y baja el contenido en proteína bruta de la cubierta. Sin embargo, en la cubierta desbrozada este incremento sucede de forma sostenida en el tiempo hasta el quinto año independientemente de la veza presente en la cubierta, lo que tiene relación con el incremento de la importancia de leguminosas silvestres en este tratamiento, al igual que sucede en D.

CONCLUSIONES

Las cubiertas sembradas de veza son eficaces para mejorar la fertilidad del suelo, resultando en un mayor contenido de potasio de cambio, carbono orgánico y materia orgánica en los primeros 10 cm de suelo.

El manejo diferencial de las cubiertas sembradas conlleva diferencias en las propiedades-físico-químicas del suelo debido principalmente a la posición de los residuos vegetales en el suelo tras el control. De este modo, de 0 a 2 cm del suelo en las cubiertas de veza desbrozada, se registra un mayor contenido de carbono orgánico, materia orgánica, nitrógeno total y coeficiente de intercambio catiónico. La mayor ventaja del tratamiento de veza desbrozada es que mejora la estructura del suelo hasta los 30 centímetros de profundidad, y así lo refleja el significativo mayor valor de CIC el sexto año de estudio relacionado con los mayores valores de potasio de cambio.

Las cubiertas desbrozadas mantienen en los 5 primeros centímetros de suelo una gran cantidad de nitrógeno inmovilizado en la materia orgánica, lo que permite un aporte sincronizado con la demanda de las plantas y los microorganismos del suelo. Este comportamiento permite, que a pesar de la alta concentración de materia orgánica, esto no se refleje en un exceso de nitrógeno en el olivo.

En las cubiertas labradas, el alto aporte de N a través de la incorporación de la vegetación en el suelo, conlleva una rápida mineralización, y una alta disponibilidad de nitratos para el olivo

entre el primer y segundo control de la cubierta. En este momento, la cubierta vegetal es prácticamente inexistente en las primaveras poco lluviosas, por lo que no es demandante de nutrientes en ese momento. La gran actividad de los microorganismos cuando se incorpora la vegetación a 10 centímetros de suelo está promovida a su vez por un mayor contenido de agua en el suelo en las cubiertas labradas. Esto implica un mayor riesgo potencial de producir un exceso de nitrógeno en el olivo.

Todas las cubiertas ensayadas presentan un alto valor fertilizante, siendo las cubiertas sembradas las que más nitrógeno contienen, sobre todo el tratamiento VI donde la veza se establece abundantemente. En cualquier caso, el valor fertilizante de todas las cubiertas supera a la demanda de nitrógeno por parte del olivar de estudio. Estos resultados advierten que sembrar una cubierta de veza en el olivar y manejarla como un abono verde o desbrozarla durante seis años seguidos conlleva un exceso de nitrógeno en el suelo y en la cubierta, lo que aumenta el riesgo de que se produzca una fertilización desequilibrada, cambios en la flora o aparición de grupos funcionales no deseados, a la vez que implica un mayor riesgo de contaminación de aguas por lixiviación de este nutriente, concretamente de nitratos en las cubiertas labradas cuando el suelo permanece desnudo y ocurren precipitaciones significativas. Asimismo, una sobre-fertilización nitrogenada reduce la calidad del aceite.

En cuanto al valor nutritivo de las cubiertas, las principales diferencias están relacionadas con un mayor contenido de cenizas brutas en las cubiertas de veza desbrozada. Asimismo, también se determina un contenido significativamente mayor de calcio y fósforo al final del estudio. La mayor acumulación de minerales en esta cubierta también está relacionado con un CIC del suelo mayor. En el mes de abril, las cubiertas desbrozadas presenta una relación C/N menor indicando una mayor proporción de formas fácilmente mineralizables, sin embargo, en el mes de junio, se invierte esta tendencia y la cubierta desbrozada es la que contiene más fibra y grasa poniendo de relieve que la funcionalidad de esta cubierta está fuertemente relacionada con los procesos de almacenamiento tanto por parte del suelo (MO) como de la vegetación (bienalidad, rizomas, raíces engrosadas, grandes hojas).

BIBLIOGRAFÍA

ARANDA, V., DOMÍNGUEZ-VIDAL, A., MARTÍN-GARCÍA, J.M., CALERO, J., DELGADO, R., VERDEJO, T., & GONZÁLEZ-VILA, F.J. (2011). Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). *Geoderma*, 164(1): 54-63.

ATUCHA, A., MERWIN, I.A., BROWN, M.G., GARDIAZABAL, F., MENA, F., ADRIAZOLA, C., & LEHMANN, J. (2013). Soil erosion, runoff and nutrient losses in an avocado (*Persea americana* Mill) hillside orchard under different groundcover management systems. *Plant and Soil*, 368(1-2), 393-406.

CASTRO, J., FERNÁNDEZ ONDOÑO, E., RODRÍGUEZ, C., LALLENA, A.M., SIERRA, M., & AGUILAR, J. (2008). Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil and Tillage Research*, 98(1): 56-67.

- CASTRO, J., SAAVEDRA, M., & PASTOR, M. (1992). Mejora de la infiltración en olivar mediante el empleo de cubiertas vivas de cereales. *ITEA*, 2: 95-104.
- FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. (2008). Fertilización. En Barranco, D., Fernández-Escobar, R. y Rallo, L., (eds.). *El cultivo del olivo*. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 289-319.
- FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., BELTRÁN, G., SÁNCHEZ-ZAMORA, M. A., GARCÍA-NOVELO, J., AGUILERA, M. P., & UCEDA, M. (2006). Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience*, 41(1): 215-219.
- GARCÍA ORENES, F., ROLDÁN, A., MATAIX SOLERA, J., CERDA, A., CAMPOY, M., ARCENEGUI, V., & CARAVACA, F. (2012). Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use and Management*, 28(4): 571-579.
- GARCÍA RUIZ, R., GÓMEZ MUÑOZ, B., CARREIRA, J.A., & HINOJOSA, M.B. (2011). Capítulo 4: La fertilización en el olivar ecológico. . En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. p. 89.
- GHIDEY, F., & ALBERTS, E. E. (1993). Residue type and placement effects on decomposition: field study and model evaluation. *Transactions of the ASAE (USA)*, 36: 1611–1617.
- GÓMEZ, J.A. (2005). Effects of soil management on soil physical properties and infiltration in olive orchards: Implications for yield. *FAO Land and Water Bulletin*, 10: 65-70.
- GÓMEZ, J.A., & GIRÁLDEZ, J.V. (2007). Efecto de las cubiertas vegetales sobre la escorrentía, erosión y propiedades del suelo. *Vida Rural*, 251: 24-27.
- GÓMEZ, J.A., GUZMAN, M.G., GIRALDEZ, J.V., & FERERES, E., (2009). The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research*, 106: 137-144.
- GÓMEZ, J.A., GUZMÁN, G., VANWALLEGHEN, T., CAMPOS, M., & GIRÁLDEZ, J.V. (2010). “Comparación de las pérdidas de suelo y escorrentía durante siete años en un olivar de verdeo en laboreo y en cubierta vegetal en la calle”. En *Actas del Congreso de Agricultura de Conservación*, Madrid, 4-7 de octubre de 2010. MARM, pp. 427-432.
- GÓMEZ, J.A., LLEWELLYN, C., BASCH, G., SUTTON, P.B., DYSON, J.S., & JONES, C.A. (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27(4): 502-514.
- HERENCIA, J.F. (2011). Capítulo 9: Biodiversidad funcional de la microbiota edáfica. Importancia para el manejo del Olivar ecológico. En VV.AA. *El Olivar Ecológico*. Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, Mundi-Prensa, Sevilla. pp. 281-326.
- HERNÁNDEZ, A.J., LACASTA, C., & PASTOR, J. (2005). Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77(1): 232-248.
- JARRIGE, R. (ed.) (1989). *Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables*. Institute National de la Recherche Agronomique, John Libbey Eurotext, Paris.

- MANN, H.R., MAXWELL, C.D., & EMERY, R.J.N. (2007). The effect of ground cover or initial organic carbon on soil fungi, aggregation, moisture and organic carbon in one season with oat (*Avena sativa*) plots. *Soil and Tillage Research*, 96(1): 83-94.
- MORENO, F., ARRÚE, J.L., CANTERO MARTÍNEZ, C., LÓPEZ, M.V., MURILLO, J.M., SOMBRERO, A., ... & ÁLVARO FUENTES, J. (2011). Conservation agriculture under Mediterranean conditions in Spain. En Lichtfouse E. (ed.). *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*. Springer Netherlands. pp. 175-193.. Disponible en: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-9513-8_6> [Consulta: 11/01/2013]
- NIETO O.M., CASTRO J., & FERNÁNDEZ ONDOÑO, E. (2012). Sustainable agricultural practices for Mediterranean olive groves. The effect of soil management on soil properties. *Spanish Journal of Soil Science*, 2 (1): 70-77.
- PASTOR, J., LACASTA, C., & HERNÁNDEZ, A. J. (2000). Evaluación de las cubiertas vegetales en el olivar de una zona semiárida del centro de España. *Edafología*, 7(2): 165-175.
- PORTA CASANELLAS, J., LÓPEZ-ACEVEDO REGUERÍN, M., & ROQUERO DE LABURU, C. (2003). Soil sciences for agriculture and environment.
- TAGUAS, E.V., YUAN, Y., BINGNER, R.L., & GÓMEZ, J.A. (2012). Modeling the contribution of ephemeral gully erosion under different soil managements: A case study in an olive orchard microcatchment using the AnnAGNPS model. *Catena*, 98: 1-16.
- URBANO TERRON, P. (1992). *Tratado de fitotecnia general*. Mundi-Prensa, Madrid.
- ZUAZO, V.H.D., & PLEGUEZUELO, C.R.R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1): 65-86.

CAPÍTULO 4: PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO

Transformar la energía solar en biomasa a través de la fotosíntesis permite a los ecosistemas mantener una entrada constante de energía a pesar de tener una baja eficiencia de conversión de esta energía en biomasa, en torno al 0,1% (Pimentel *et al.*, 1978). En el caso de los agroecosistemas, al ser perturbados por el hombre, la eficiencia de conversión suele ser superior. La producción de materia vegetal implica la adquisición de carbono para formar moléculas orgánicas, por lo que la productividad primaria del olivar con cubierta contribuye a capturar un mayor porcentaje de carbono atmosférico que un olivar con el suelo desnudo. De este modo, la mayor parte del carbono orgánico del suelo en los cultivos de olivar proviene de la biomasa herbácea (Castro *et al.*, 2008).

La productividad primaria o biomasa del agroecosistema depende de las condiciones climáticas, la fertilidad, la disponibilidad de agua y el régimen de la perturbación. Asimismo, la cantidad de luz que es capaz de interceptar la cubierta contribuirá notablemente a una mayor producción de biomasa. Normalmente los datos disponibles se refieren a la biomasa aérea sin embargo, la biomasa subterránea tiene importantes implicaciones en los procesos básicos del ecosistema. De este modo, la proporción de la biomasa aérea/subterránea está relacionada con la disponibilidad de agua; a medida que esta disminuye, las plantas asignan mayor proporción de sus recursos a raíces, aunque también depende de la fertilidad (Terradas, 2001).

Por otro lado, está claro el beneficio que supone la cubierta vegetal en el olivar, ya que incrementa el contenido en materia orgánica del suelo, a la vez que lo protege de la erosión y permite que la energía fluya eficientemente de un nivel a otro (Pastor, 1989; Sans *et al.*, 2006; Castro *et al.*, 2008; Ramos *et al.*, 2010). Sin embargo, la necesidad de la cubierta vegetal de utilizar los recursos disponibles para producir biomasa, puede comprometer recursos limitantes como el agua para el cultivo en caso de no manejarse adecuadamente (Humanes y Pastor, 1995; Pastor *et al.*, 1997; Muñoz-Cobo, 1999; Hernández *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005), sobre todo en los cultivos de secano de las zonas semiáridas del mediterráneo como olivos, almendros o viñedos.

En el caso del olivar de estudio, los indicadores de biomasa, cobertura y producción de aceituna, añaden una información imprescindible para comprender el diferente funcionamiento del sistema suelo-hierba-olivo en función del tratamiento ensayado. La productividad de las cubiertas y el rendimiento del cultivo son indicadores clave de la fertilidad y sostenibilidad del olivar a largo plazo. Asimismo, estos indicadores han sido necesarios para el cálculo del valor nutritivo y fertilizante (Capítulo 3), o bien para determinar la evapotranspiración de las cubiertas en el olivar (Capítulo 2).

OBJETIVOS

El objetivo general es obtener información primaria en relación a la productividad del agroecosistema olivar en términos de productividad de la cubierta vegetal y de rendimiento del cultivo en función del tipo de manejo ensayado.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Determinar la biomasa fresca y seca producida por cada una de las cubiertas ensayadas y analizar su evolución durante el estudio, dividiendo a su vez la vegetación en distintas fracciones de interés.
- Establecer la capacidad de las distintas cubiertas para cubrir el suelo, y analizar su evolución durante el tiempo de ensayo.
- Determinar y analizar la evolución del rendimiento del olivar durante el ensayo.

Se parte de la hipótesis que las cubiertas sembradas cubren mejor el suelo por una mayor producción de biomasa, lo que a su vez, no afecta al rendimiento del cultivo.

METODOLOGÍA

Para muestrear la biomasa producida y el índice de cobertura, se procede en cada subparcela avanzando en base a tres transectos, las dos diagonales y la línea de máxima pendiente.

BIOMASA APORTADA POR LA CUBIERTA VEGETAL

Para llevar a cabo esta determinación, se toman muestras lanzando un marco metálico de 50x50 cm, 12 veces en cada subparcela. La toma de muestras se realiza en las fechas indicadas en la Tabla 4.1, siempre unos pocos días antes de eliminar la cubierta, antes del primer y segundo control. A continuación se corta la biomasa vegetal que queda contenida entre los límites del cuadrante (Foto 4.1 y 4.2). Las muestras van contenidas en bolsas de plástico e identificadas para su pesado. Para determinar la materia fresca aportada por cada tratamiento se realiza el cálculo de los Kg/ha, a partir de la superficie conocida de las muestras tomadas en cada subparcela ($(12 \times (50 \times 50 \text{ cm})) = 3 \text{ m}^2$) y su peso fresco correspondiente.

Tabla 4.1. Calendario de muestreo de la biomasa producida por las cubiertas vegetales antes del primer y segundo control de las cubiertas.

	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
Antes del 1 ^{er} control	13, 16 de mayo 2004	12,14 de abril 2005	25,26 de abril 2006	9 a 11 de abril 2007	4 de abril 2008	28,29 de abril 2009
Antes del 2º control				4 de junio 2007	12 de junio 2008	11,13 de junio 2009

Posteriormente, a partir de 1Kg de materia fresca de cada subparcela, obtenida de la mezcla de las 12 submuestras utilizadas para determinar el peso fresco, se separan las plantas cultivadas de las adventicias (Foto 4.3) y se registra su peso fresco por separado. A partir de la campaña 2007-2008, se separa también la biomasa aportada por las leguminosas silvestres. A

continuación se introduce cada fracción vegetal de cada subparcela en sobres de papel bien identificados, y se pesan antes de introducirlos en la estufa a 60°C hasta que lleguen a peso constante; esto sucede en torno a una semana después, cuando se registra el peso seco. A través de este muestreo se calculan los indicadores de materia seca (MS) y materia fresca (MF) para cada una de las fracciones vegetales evaluadas.



Foto 4.1: Submuestra de biomasa. Foto 4.2: Aspecto del suelo tras la recogida de la biomasa. Foto 4.3: Separación de la biomasa por fracciones vegetales (arvenses, leguminosas y veza sembrada)

ÍNDICE DE COBERTURA DEL SUELO

Para estimar el índice de cobertura del suelo se emplea la escala semicuantitativa de Braun-Blanquet (1979), cuyos valores se encuentran indicados en la Tabla 4.2. Esta medida es indicadora de la protección que ofrece la cubierta al suelo frente a la erosión hídrica. Para su medición se procede lanzando el marco metálico 12 veces por subparcela y anotando en cada ocasión el índice de cobertura viva (ICV) de cobertura seca (ICS) y de cobertura total (ICT).

Tabla 4.2. Valores del Índice de cobertura. Braun-Blanquet (1979)

Definición	Cobertura (%)	Valor índice
Cubriendo < 1/10 de la superficie	0-10	1
Cubriendo entre 1/10 y ¼	10-25	2
Cubriendo entre 1/4 y 1/2	25-50	3
Cubriendo entre 1/2 y ¾	50-75	4
Cubriendo entre 3/4 y 4/4	75-100	5

El muestreo del índice de cobertura se inició en noviembre de 2007 y finalizó en julio de 2009, según se indica en la Tabla 4.3, donde cada fila representa un año de ensayo distinto.

Tabla 4.3. Calendario de muestreo del Índice de cobertura de 2003 a 2009.

Nº de muestreo								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
23/11/03	13/12/03	19/01/04	13/02/04	10/03/04	29/04/04	21/05/04	26/06/04	22/07/04
		17/01/05	05/02/05	09/03/05	05/04/05	10/05/05	13/06/05	
			24/02/06	21/03/06	21/04/06	24/05/06	24/05/06	23/06/06
	21/12/06	23/01/07	27/02/07	26/03/07	27/04/07	21/05/07	10/06/07	18/07/07
23/11/07	28/12/07	21/01/08	20/02/08	25/03/08	22/04/08	29/05/08	23/06/08	22/07/08
27/11/08	31/12/08	31/01/09	25/02/09		26/04/09	28/05/09	22/06/09	15/07/09

RENDIMIENTO DEL CULTIVO

La medición de la producción del olivo se realiza recogiendo y pesando la aceituna total de los 4 árboles centrales de cada subparcela. Se procede recogiendo la aceituna del vuelo con vareo manual. Las aceitunas del fardo se pesan con cubos y una balanza “romanilla”. En los casos en que haya aceituna en el suelo se recoge también, esto sucede el sexto año. A partir de la producción media de aceituna por árbol para cada subparcela, y conociendo la densidad de plantación, que es de 156 árboles/ha, se obtiene el rendimiento en Kg de aceituna por hectárea. El muestreo de la producción se lleva a cabo durante la recolección anual, y las fechas concretas de muestreo se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Calendario de muestreo de la producción de aceituna del olivar.

2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
28/12/2004	12/2005	21/11/2006	10/12/2007	12/12/2008	5/01/2010

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Tras comprobar que los grupos de datos correspondientes a cada fecha de muestreo cumplen con los supuestos del análisis de la varianza, esto es, normalidad, homocedasticidad y distribución aleatoria de los residuos, se realiza un análisis de la varianza univariado en base a un diseño en bloques completamente aleatorizado (Anexo 0) con el programa Statistix 8. Los resultados del ANOVA para cada fecha de muestreo de forma independiente se pueden consultar en el Anexo 4.A.

Para el caso de los datos de cobertura y biomasa, se pueden incluir los datos en un modelo de medidas repetidas, ya que ambos indicadores se recogen todos los años en las mismas fechas, por lo que se analizan los datos de forma conjunta a través de un ANOVA combinado en parcelas divididas. El programa Statistix 8 permite insertar el modelo utilizando el esquema del diseño en Split-plot, o bien mediante un ANOVA general, donde los términos se introducen manualmente. Se incluyen en el análisis combinado todos aquellos experimentos (años distintos) que cumplan con la homogeneidad de las varianzas de los cuadrados medios del error de cada experimento. Para evaluar la posibilidad de combinar los distintos errores se utiliza la distribución F de Fisher cuando se quieren combinar dos años distintos y Chi-cuadrado para series de más de dos años o meses.

El análisis combinado permite examinar el efecto de la interacción entre un tratamiento y el año o mes de observación. Esta interacción tiene un claro significado agronómico, y abordamos su estudio a través de una ANOVA general donde se incluye esta interacción como un término del modelo: TRAT BLOQUE AÑO AÑO*TRAT para el caso de los indicadores de biomasa, y TRAT BLOQUE MES MES*TRAT en el caso del índice de cobertura. Esto permite analizar la interacción a lo largo del tiempo, así como la significación de dicha interacción (Anexo 4.A). Las diferencias entre tratamientos se establecen a través de la comparación de medias, a un nivel de significación $\alpha=0,05$, mediante el método de la mínima diferencia significativa (LSD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRODUCCIÓN DE MATERIA FRESCA Y SECA ANTES DEL PRIMER CONTROL DE LAS CUBIERTAS

Tras procesar los datos relativos a la biomasa aérea producida por cada una de las cubiertas ensayadas, se obtiene los valores medios y las diferencias estadísticas que se recogen en la Tabla 4.5. En primer lugar, cabe destacar una estrecha relación entre la biomasa producida y la precipitación. De este modo, los menores valores de materia fresca y seca se registran el segundo año, cuando llueven 176 mm en toda la campaña agrícola 2004-2005. Las condiciones extremas de sequedad conllevan que la cantidad de biomasa producida por los distintos tratamientos se iguale, con un valor ligeramente superior para las cubiertas espontáneas. Asimismo, los años más húmedos, las cubiertas sembradas producen una cantidad de materia fresca y seca significativamente mayor frente a las espontáneas. Los valores máximos están en torno a 16.000 Kg/ha de materia fresca y 4.000 kg/ha de materia seca. Estos valores de materia seca son muy similares a los que obtienen Castro *et al.* (2008) en un olivar de secano en Jaén, con 4058,4 Kg m.s/ha aportados por la cubierta vegetal segada y 3940 Kg m.s/ha por la cubierta gradeada. Asimismo, Pastor (1989) determina para el mes de abril una producción de materia seca de unos 3800 Kg/ha en cubiertas espontáneas en un olivar en Córdoba. También en almendros se han determinado valores de biomasa en torno a los 3500 Kg m.s/ha con cubiertas de veza-cebada (Ramos *et al.*, 2010).

Tabla 4.5. Producción anual media de biomasa (Kg/ha) de las distintas fracciones vegetales que forman cada cubierta antes del primer control (abril).

		MFT	MST	MFV	MSV	MFR	MSR	MFL	MSL
AÑO 1	VI	15117 A	3185,6 A						
	D	8587B	1755,6 B						
	VS	14446 A	2704,8A						
AÑO 2	VI	4440,7	1123,8						
	D	3827,9	949,7						
	VS	3827,9	949,2						
AÑO 3	VI	7627,8AB	1859,8 A	746,61	127,18	6881,2	1732,7AB		
	D	6119,2B	1368,5B	0	0	6119,2	1368,5B		
	VS	8276,3A	1839,1 A	518,74	89,503	7757,5	1749,6 A		
AÑO 4	VI	10886 A	2178,8 A	4730,8 A	954,05 A	6154,8	1224,7 B		
	D	6697 B	1599,4 B	0	0	6697,1	1599,4AB		
	VS	10460 A	2154,6 A	1420 B	282,32B	9039,7	1872,3 A		
AÑO 5	VI	11793AB	3114,3	631,66	156,21	11162	2958,1	455,91	122,52
	D	10699B	2761	0	0	10699	2761	610,73	152,88
	VS	13876A	3231,5	509,48	121,74	13367	3109,7	372,39	90,6
AÑO 6	VI	15582 A	4054,1 A	6902,4 A	1542,3 A	8680 C	2511,8B	923,4	228,54
	D	11200 B	2843,4 B	0	0	11450B	2907,3AB	1570,2	336,04
	VS	15927 A	3323,1AB	367,3B	102,25 B	15560A	3220,9A	985,4	237,45

VI: veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: veza desbrozada. MFT: materia fresca total; MST: materia seca total; MFV y MSV: materia fresca y seca de veza; MFR y MSR: materia fresca y seca del resto no sembrado; MFL y MSL: materia fresca y seca de leguminosas silvestres. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Los valores obtenidos (Tabla 4.5) suponen una eficiencia de conversión de la energía solar en biomasa de un 0,25%, similar a un cultivo de trigo (Pimentel *et al.*, 1978). La materia seca

aportada por la veza sembrada oscila entre los 89 y los 1500 Kg/ha, dependiendo de la mejor o peor implantación de la veza. En la cubierta sembrada y labrada es donde la veza produce significativamente más materia seca frente a la cubierta de veza desbrozada el cuarto y sexto año. Las hierbas adventicias suponen la mayoría de la biomasa producida en las cubiertas sembradas, siendo la producción de materia seca en VS significativamente superior a la que producen las cubiertas de veza labrada, el cuarto y sexto año. Asimismo, la biomasa producida por las leguminosas silvestres antes del primer control, no presenta diferencias significativas entre tratamientos los dos últimos años de estudio, aunque se observan valores ligeramente mayores en las cubiertas espontáneas.

Si se analizan los datos de forma conjunta en base a un diseño de parcelas divididas, todos los indicadores de biomasa presentan diferencias entre tratamientos (Tabla 4.6). En el tratamiento VI, la veza representa un 26% de la materia seca producida por la cubierta, y las leguminosas silvestres un 6,7%. En cambio, en el tratamiento VS, la veza representa un 6,2% y las leguminosas silvestres un 6,9%. Las leguminosas silvestres en la cubierta espontánea producen una significativa mayor cantidad de materia fresca y seca, un 13% del total. De forma general, la cubierta desbrozada es la que contiene un mayor porcentaje de agua en su biomasa aérea ($1 - (MS/MF) \cdot 100$), entre un 2-3% mayor a la contenida en las cubiertas labradas. La fracción vegetal más húmeda para las cubiertas sembradas es la de la veza, mientras que la fracción vegetal correspondiente a las adventicias contiene una mayor humedad en VS, y las leguminosas silvestres contienen una mayor humedad en D, seguidas por VS.

Tabla 4.6. Valores medios de materia fresca y materia seca (Kg/ha) para cada fracción vegetal de 2004 a 2009 antes del primer control de la cubierta (abril).

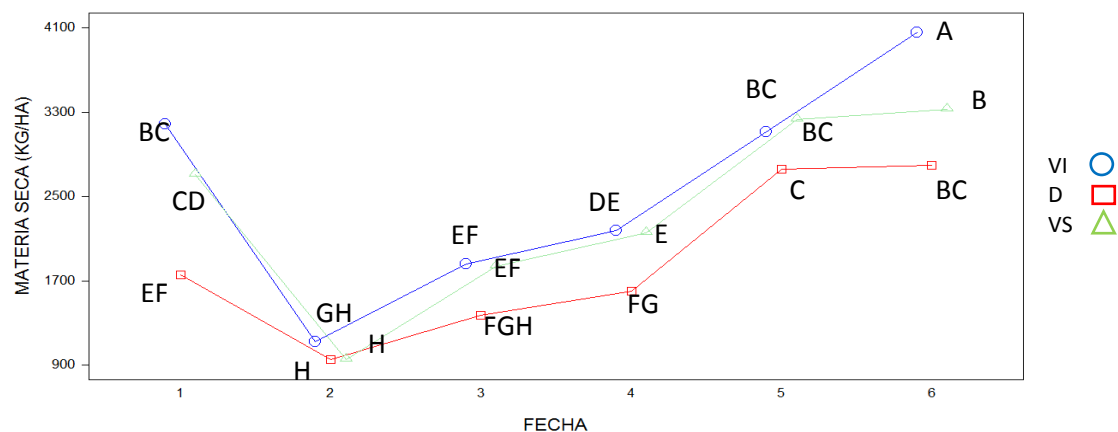
	MFT	MST	MFV	MSV	MFR	MSR	MFL	MSL
VI	10908 A	2586,1 A	3252,9 A	694,94 A	8219 B	2106,8 B	689,7B	175,53 B
D	7799 B	1871,5 C			8555 B	2116,2 B	1069, 8A	243,76 A
VS	11147 A	2367 B	703,88B	148,95 B	11431 A	2488,1 A	678,9 B	164,03 B

VI: veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: veza desbrozada. MFT: materia fresca total; MST: materia seca total; MFV y MSV: materia fresca y seca de veza; MFR y MSR: materia fresca y seca del resto no sembrado; MFL y MSL: materia fresca y seca de leguminosas silvestres. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

La producción media de biomasa fresca es significativamente mayor en las parcelas sembradas (en torno a 11.000 Kg/ha) frente a las cubiertas espontáneas (Tabla 4.6). Cuando el análisis se realiza para la materia seca producida antes del primer control de la cubierta, aparecen tres grupos significativamente distintos, con VI en primer lugar, seguido de VS y finalmente D. En cuanto a la biomasa de veza tanto fresca como seca, resulta significativamente mayor en las cubiertas de veza labradas. La biomasa producida por las hierbas adventicias es significativamente mayor en las cubiertas desbrozadas que en las labradas. La materia fresca y seca de leguminosas silvestres es significativamente más importante en las cubiertas naturales. Otros estudios también detectan una mayor proporción de leguminosas silvestres en las cubiertas espontáneas en olivares y viñedos en zonas semiáridas (Hernández *et al.*, 2000; Pastor *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2005). Este comportamiento indica que, la siembra de una leguminosa de porte medio compite directamente por la luz y el espacio con las

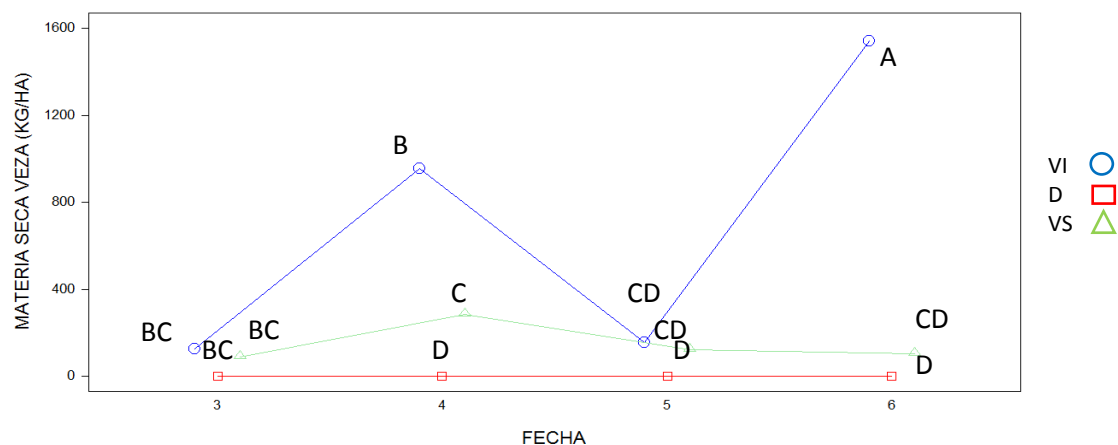
leguminosas silvestres, y que este comportamiento se acentúa en el tratamiento VI, donde ésta se instala en mayor cantidad (Foto 4.5).

Gráfico 4.1. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en el mes de abril,



Tratamientos VI: veza labrada; D: cubierta natural labrada; VS: veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Gráfico 4.2. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca de veza producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en el mes de abril.



Tratamientos VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tras comprobar la significación del tratamiento, se evalúa el efecto de la interacción tratamiento*fecha, a través de la serie de años de estudio, que también resulta significativa para el ANOVA combinado (Anexo 4.A). En la representación del Gráfico 4.1, se puede observar la ventaja que las cubiertas sembradas presentan frente a las espontáneas en relación a su capacidad de producir materia seca durante los seis años de estudio, lo que guarda relación con una mayor disponibilidad de recursos, a la vez que supone una mayor captura de carbono atmosférico. Las cubiertas sembradas mantienen valores de producción de biomasa que no se diferencian significativamente hasta el sexto año, cuando la cubierta sembrada de veza y labrada resulta producir significativamente más materia seca frente a D y

VS. Este comportamiento se debe a que el último año, el tratamiento VI produce una gran cantidad de materia seca de veza (Foto 4.4 y 4.5).



Foto 4.4: Cubierta de veza labrada a final de abril de 2009. Foto 4.5: Detalle de la veza sembrada en flor antes del primer control de la cubierta.

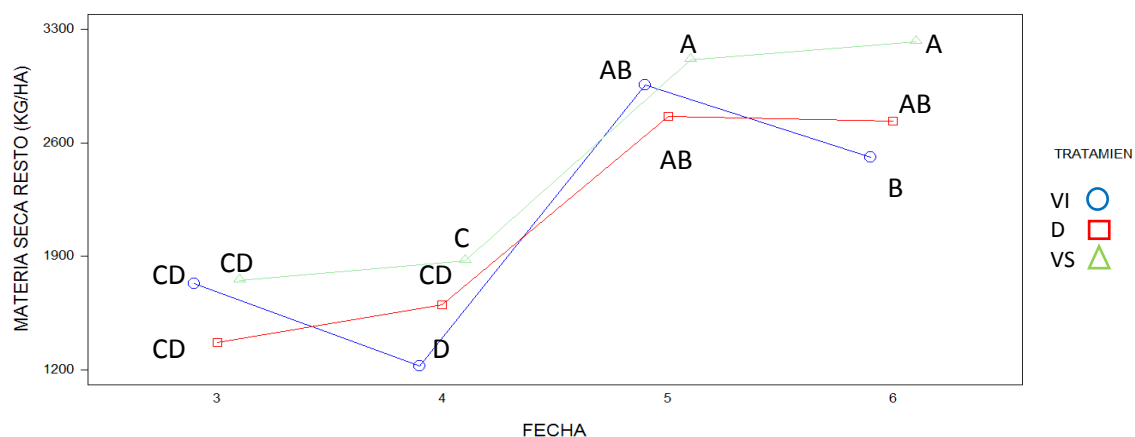
El cuarto y sexto año, la veza alcanza su mayor abundancia y producción de biomasa en las cubiertas de veza labrada (Foto 4.5 y Gráfico 4.2), con diferencias significativas frente a VS (Foto 4.6 y 4.7). El aumento de la materia fresca y seca de veza producida en VI, está inversamente relacionada con la biomasa producida por el resto de plantas adventicias no sembradas. De este modo, el cuarto y sexto año la biomasa correspondiente a la fracción no sembrada alcanza los menores valores en el tratamiento VI, a la vez que son significativamente menores a los de las cubiertas de veza desbrozada.



Foto 4.6: Cubierta de veza desbrozada a final de abril de 2009. Foto 4.7: Detalle de la veza sembrada en flor junto a las plantas adventicias antes del primer

Se observa en el Gráfico 4.3, como la veza sembrada y desbrozada estimula la producción de biomasa de las plantas adventicias o resto no sembrado, durante la última mitad del ensayo, con valores significativamente mayores el cuarto y sexto año frente a las cubiertas de veza labrada. En el tratamiento VI, cuando la veza se establece de forma dominante, el cuarto y sexto año (Gráfico 4.2), se reduce la producción de materia seca por parte de las adventicias. La veza en alta densidad compite por el espacio y la luz con la fracción vegetal no sembrada, mientras que la siembra en alta densidad pero con bajo establecimiento de la veza estimula al resto de arvenses (Foto 4.7). La veza posee un evidente valor fertilizante del suelo sobre todo en forma de planta con fijación activa, pero también cuando no llega a germinar y permanece en forma de semilla.

Gráfico 4.3. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca de adventicias producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en el mes de abril.



Tratamientos, VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).



Foto 4.8:
Cubierta
espontánea
labrada a final de
abril de 2009.
Foto 4.9: Detalle
de la cubierta
natural verde y
seca antes del
primer control.

La cubierta espontánea labrada muestra un incremento continuado de su producción de materia seca durante el ensayo, con valores significativamente mayores los dos últimos años de estudio (Gráfico 4.3). A pesar de tratarse de la cubierta menos diversa, es capaz de producir una importante cantidad de materia seca, que denota su madurez (Fotos 4.8 y 4.9). Los valores medios de biomasa obtenidos en el mes de abril y junio en las cubiertas espontáneas, se asemeja a los valores encontrados en pastizales de encinares adehesados dominados por terófitos (Montalvo *et al.*, 1988), entre 1790-2130 Kg m.s/ha y año.

PRODUCCIÓN DE MATERIA FRESCA Y SECA ANTES DEL SEGUNDO CONTROL DE LAS CUBIERTAS

A partir del primer control de la cubierta y hasta el segundo, es el tratamiento de veza desbrozada el que mantiene el suelo con una cubierta viva debido al rebrote tras el corte. Sin embargo, en las cubiertas labradas, la vegetación de óptimo primaveral desaparece, y sólo en caso de precipitaciones en mayo vuelve a emerger, aunque con una cobertura muy inferior. Este comportamiento diferencial entre tratamientos implica que los valores medios de materia fresca y seca producidos antes del segundo control sean significativamente mayores en las cubiertas desbrozadas frente a las labradas del cuarto al sexto año de estudio, incluso los años

en que llueve abundantemente entre controles (Tabla 4.7). Todos los indicadores de biomasa evaluados reflejan la misma situación.

Tabla 4.7. Producción media anual de biomasa (Kg/ha) de las distintas fracciones vegetales que forman cada cubierta antes del segundo control (junio).

		MFT	MST	MFV	MSV	MFR	MSR	MFL	MSL
AÑO 4	VI	605,3 B	140,3 B						
	D	451 B	141 B						
	VS	4794,2A	1255,7 A						
AÑO 5	VI	1386,2 B	292,8 B	1,1033B	0,42 B	1385,1 B	292,4 B	24,19 B	7,92 B
	D	1845,8 B	409,5 B	0	0	1845,8 B	409,5 B	77,74 B	26,32 B
	VS	9340,2 A	2270 A	243,81A	65,29A	9096,4 A	2204,7 A	546,39 A	197,77 A
AÑO 6	VI	336,6 B	85,2 B	21,321	9,07	315,2 B	76,1 B	21,21 B	6,27 B
	D	426,6 B	111,5 B	0	0	426,6 B	111,5 B	50,69 B	8,51 B
	VS	5870,2 A	1660,1 A	10,706	2,02	5859,5 A	1658,1 A	326,18 A	143,22 A

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. MFT: materia fresca total; MST: materia seca total; MFV y MSV: materia fresca y seca de veza; MFR y MSR: materia fresca y seca del resto no sembrado; MFL y MSL: materia fresca y seca de leguminosas silvestres. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Cuando el análisis de los datos recogidos en los meses de junio se realiza de forma conjunta (Tabla 4.8), los resultados son los mismos que los reflejados en el análisis año por año (Tabla 4.7), excepto para la biomasa producida por la veza sembrada antes del segundo control.

Tabla 4.8. Materia fresca y seca (Kg/ha) para cada fracción vegetal de 2004 a 2009 antes del segundo control de la cubierta (junio).

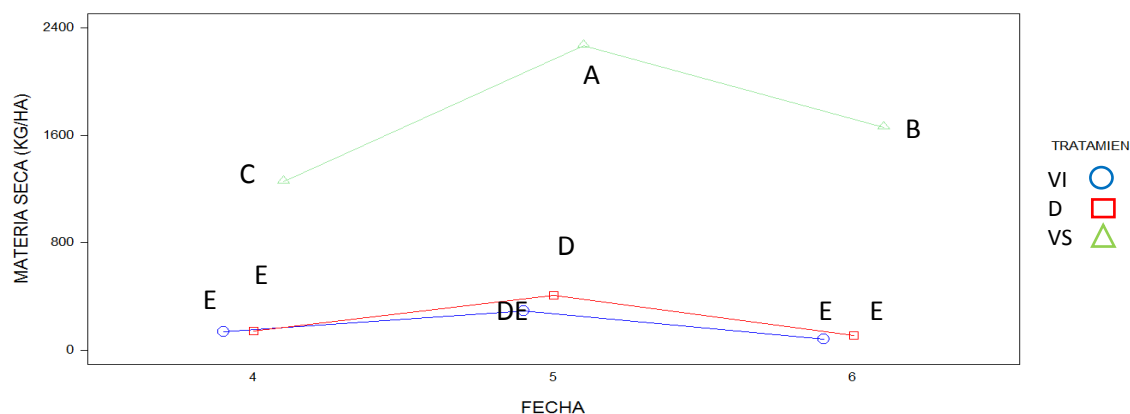
	MFT	MST	MFV	MSV	MFR	MSR	MFL	MSL
VI	776 B	172,8 B	11,212 AB	4,7515AB	850,2 B	184,2 B	22,7 B	7,09 B
D	907,8 B	220,7 B	0	0	1136,2 B	260,5 B	53,09 B	13,84 B
VS	6668,2 A	1728,6 A	127,26 A	33,658A	7478 A	1931,4 A	436,29 A	170,49 A

VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. MFT: materia fresca total; MST: materia seca total; MFV y MSV: materia fresca y seca de veza; MFR y MSR: materia fresca y seca del resto no sembrado; MFL y MSL: materia fresca y seca de leguminosas silvestres. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Es interesante comprobar que la veza sembrada tiene una escasa capacidad de rebrote tras el primer control (Humanes y Pastor 1995; Pastor *et al.*, 1997), que depende del estado fenológico en el que se encuentra y de la humedad del suelo. El desbroce de la cubierta permite que la veza llegue al mes de abril con un estado fenológico un poco anterior al que tiene en las cubiertas labradas, lo que implica que la parte verde que queda sobre el suelo puede regenerarse o seguir viva tras el corte. Sin embargo, el sexto año, la importante cantidad de biomasa de veza en las cubiertas labradas a final de abril, debe tener relación con la biomasa de veza que se registra tras el segundo control. Una explicación sería que se produce una resiembra de las semillas de veza del suelo seguida por la germinación de algunos individuos, esto sucede para el año más húmedo de la serie (760 mm).

La cubierta de veza desbrozada produce en el mes de junio el 73% de la materia seca producida en el mes de abril, la cubierta de veza labrada tan solo el 6,6%, y para el caso de la cubierta espontánea el 11,8%. El Gráfico 4.4 resulta en una magnífica representación de la distinta magnitud que en relación a la producción de materia seca presentan los distintos tratamientos antes del segundo control de la cubierta. Además, estas diferencias significativas se ven acentuadas los años con precipitaciones entre controles.

Gráfico 4.4. Evolución de la interacción tratamiento*fecha para la materia seca de adventicias producida por cada cubierta ensayada de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6) en el mes de junio.



Tratamientos VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

ÍNDICE DE COBERTURA

Para analizar los datos de cobertura vegetal se procede en primer lugar trasladando los valores de la escala categórica que se utilizan para el muestreo en campo, a sus correspondientes valores numéricos expresados en porcentaje (Tabla 4.2). El porcentaje de cobertura guarda una fuerte dependencia con la precipitación anual, con el régimen de la perturbación y con la composición florística de las cubiertas. Asimismo, el porcentaje de suelo cubierto es más importante que la cantidad de residuos dejados sobre el suelo (Blevins, 1986). En primer lugar se analiza la evolución de este indicador para algunos de los años de ensayo a través de la evolución de la interacción tratamiento*mes. Se escogen los años más secos, un año medio, y el año más húmedo, con el objetivo de detectar patrones diferenciales entre tratamientos.

El año más seco de la serie (2004-2005), con 20 mm caídos de septiembre a enero, presenta el menor índice de cobertura verde al empezar el año con apenas un 40%. Los valores de cobertura total son superiores para la cubierta desbrozada de enero a marzo y significativamente inferiores en las cubiertas labradas (Gráfico 4.5 y Anexo 4.A). La gran cantidad de biomasa producida la primavera anterior, y la ausencia de lluvias, se reflejan en la cubierta desbrozada, donde el índice de cobertura seca es de un 50% en enero, y contribuye a que en este tratamiento la cobertura total sea del 90% en enero y cerca del 100% hasta junio. Los máximos valores de cobertura verde se alcanzan en todos los tratamientos el mes de abril en torno al 80%, coincidiendo con el menor porcentaje de cobertura seca, en torno al 20% antes del primer control de la cubierta. Tras el primer control de la cubierta y hasta el segundo, la cobertura seca vuelve a incrementarse en las cubiertas desbrozadas manteniéndose en

torno al 60% en VS y en torno al 25% en las labradas. Asimismo, entre controles, la cobertura verde del tratamiento VS se mantiene sobre el 40%.

Gráfico 4.5. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2004-2005.

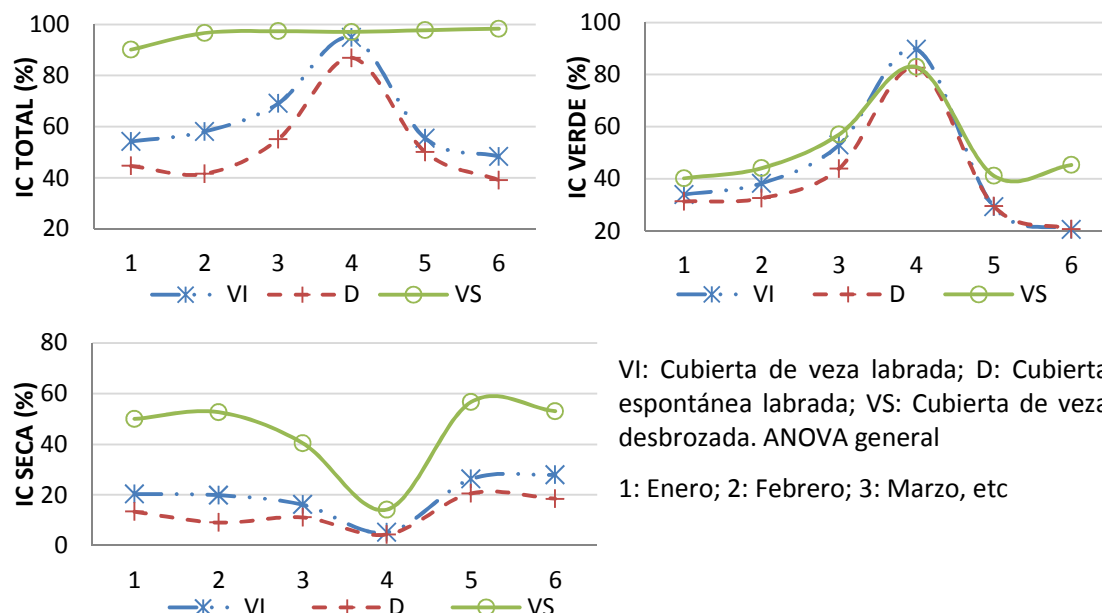
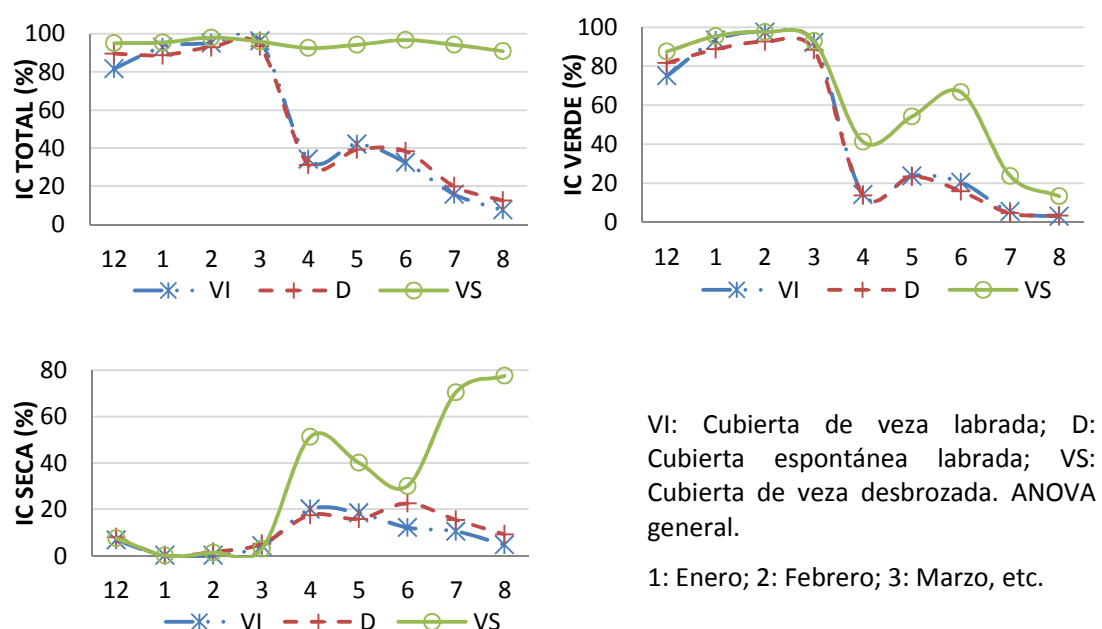


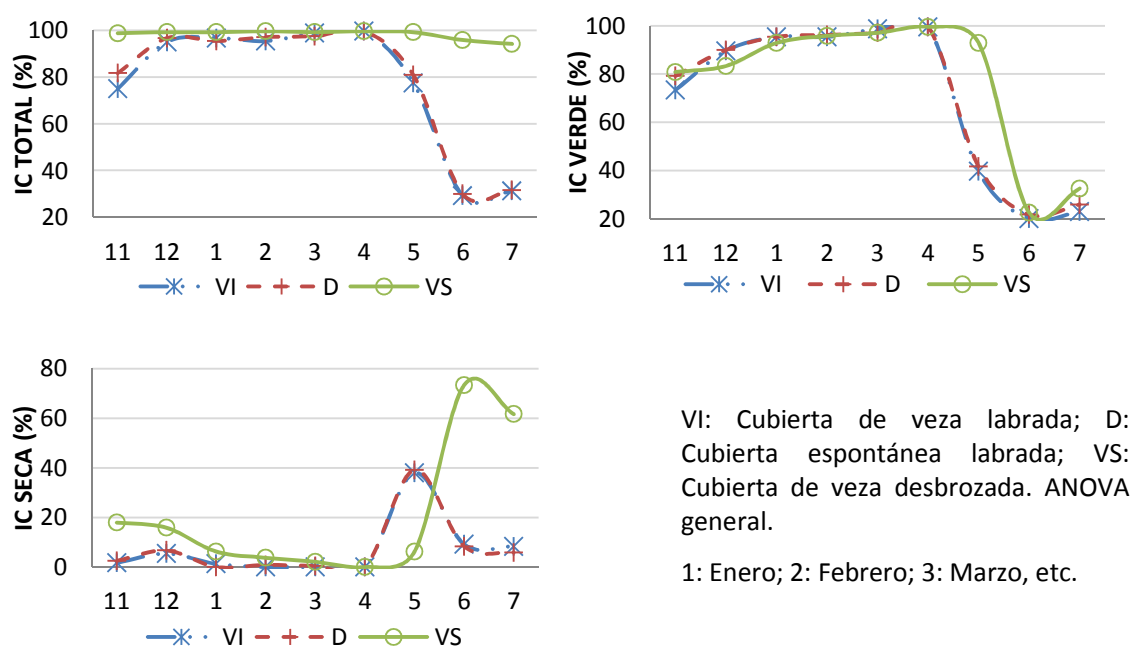
Gráfico 4.6. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2006-2007.



Si se observan los resultados correspondientes al cuarto año, ya en el mes de diciembre la cobertura verde para todos los tratamientos está en torno al 80%. A pesar de ser el segundo año con menor precipitación, concretamente de septiembre a enero llueven 200 mm, 180 mm más que los que se registran el año más seco en el mismo periodo. La escasa precipitación ocurrida desde 2005, conlleva que la biomasa producida por las cubiertas el segundo y tercer

año sea la más pequeña de la serie, y eso se refleja en el índice de cobertura seca que en diciembre está por debajo del 10%. Las diferencias significativas entre tratamientos aparecen a partir del primer control de la cubierta (Gráfico 4.6 y Anexo 4.A). El cuarto año, entre el primer y segundo control, se producen 82,6 mm de precipitación, lo que implica que a pesar de reducirse el índice de cobertura verde tras la labor en abril, éste esté en torno al 20% hasta el segundo control en las cubiertas labradas, y que sobrepase el 60% en las desbrozadas antes del segundo control. Esto conlleva que tras el segundo control, las cubiertas desbrozadas presenten un índice de cobertura seca en torno al 80% en el mes de agosto, coincidiendo con su menor cobertura verde (17%).

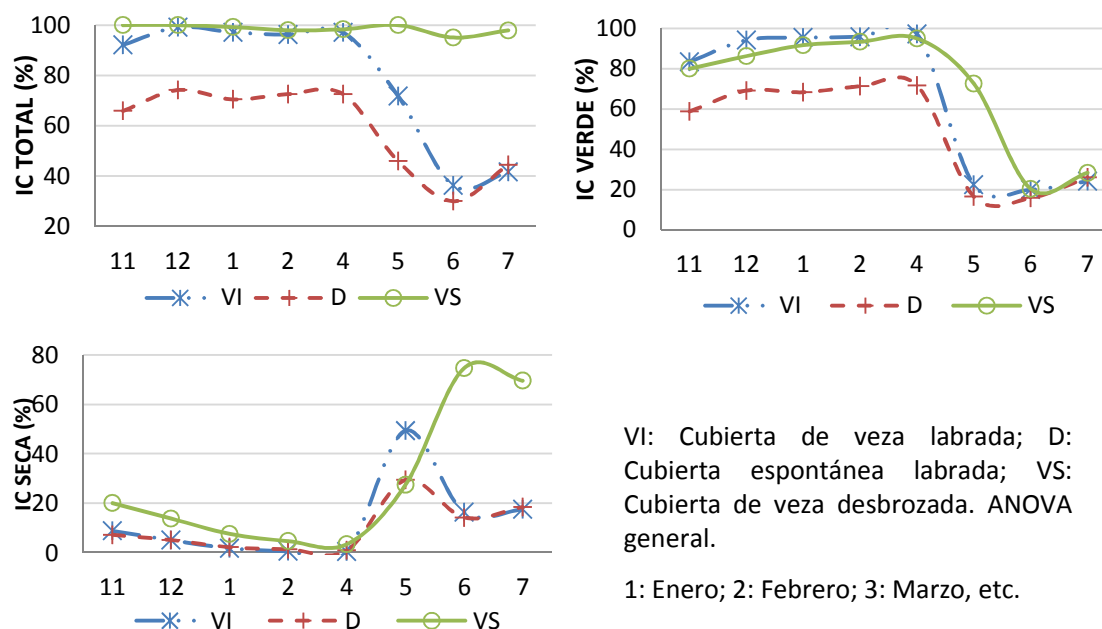
Gráfico 4.7. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2007-2008.



Cuando el año presenta una precipitación media, como el quinto, con 516 mm distribuidos de forma uniforme durante la campaña, la cobertura del suelo se comporta de forma muy similar para todos los tratamientos hasta pasado el primer control de la cubierta. A pesar de que el otoño e inicio de invierno (septiembre-enero) es seco, con 160 mm, la cubierta verde se encuentra en torno a un 80% ya en el mes de noviembre para todos los tratamientos, alcanzando en enero valores cercanos al 100%. Estos valores máximos se mantienen hasta el mes de mayo, cuando aparecen diferencias estadísticas entre tratamientos (Gráfico 4.7 y Anexo 4.A). La primavera húmeda del quinto año, conlleva que en el mes de mayo las cubiertas desbrozadas mantengan una cobertura verde de un 100% y las labradas de un 40% hasta el segundo control en el mes de junio. La importante cobertura verde de noviembre a final de abril, conlleva que se registren los menores valores de cobertura seca durante el mismo periodo. Esto sucede para todos los tratamientos, aunque es en las cubiertas desbrozadas donde en noviembre y diciembre la cubierta seca todavía representa en torno al 20%, mientras que en los suelos laboreados este valor no supera el 6%. Entre controles, la cobertura seca sobre el suelo es de 40% en los tratamientos labrados y en torno al 75% en los

desbrozados, índice que se reduce hasta el 7% y el 60% tras el segundo control, en el mes de julio (Gráfico 4.7).

Gráfico 4.8. Evolución del índice de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) a través de la interacción tratamiento*mes durante el año 2008-2009.



Es de interés observar también la evolución del índice de cobertura los años con mayor precipitación, como es el sexto año con 760 mm y un otoño-invierno húmedo. En estos casos aparecen las mayores diferencias entre tratamientos (Gráfico 4.8 y Anexo 4.A). En el mes de noviembre de 2008 las cubiertas sembradas tienen una cobertura verde de un 80%, mientras que las labradas de un 60%. Estas diferencias se mantienen hasta final de abril, cuando se realiza el primer control. En el mes de mayo, y con una primavera seca (58 mm), las cubiertas desbrozadas reducen su cobertura verde hasta el 75%, mientras que las labradas lo reducen hasta el 20%. Tras el segundo control, todos los tratamientos presentan una cobertura verde sobre el 20% en el mes de julio. Debido a que el sexto año las cubiertas producen la mayor cantidad de biomasa antes del primer control, después del mismo, las cubiertas de veza labradas mantienen entre controles una cobertura seca de hasta el 50%, las espontáneas de un 30% y las desbrozadas de un 75%.

ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS DATOS DE COBERTURA (2004-2009)

Para tratar los datos de forma conjunta, se procede a normalizar su distribución omitiendo los meses que presentan pocas repeticiones como agosto y noviembre. Tras utilizar un modelo en parcelas divididas para el análisis de los datos de cobertura registrados de 2003 a 2009, resulta significativo el efecto del tratamiento, del mes y de la interacción entre ambos (Anexo 4.A) a través de los años de estudio (Tabla 4.9 y Gráfico 4.9).

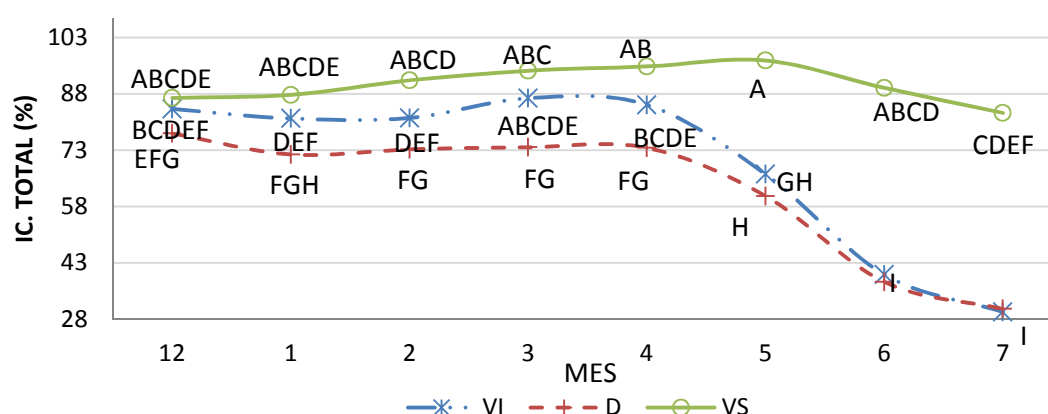
Tabla 4.9. Valores medios de cobertura total (ICT), verde (ICV) y seca (ICS) de 2003 a 2009.

				MES	ICT	ICV	ICS
				DICIEMBRE	82,74AB	84,06 A	8,2 B
				ENERO	80,31B	76,81 B	8,16 B
				FEBRERO	82,11B	76,81 B	7,75 B
				MARZO	84,89 A	81,46 A	7,79 B
TRAT.	ICT	ICV	ICS	ABRIL	84,64 A	77,8 B	31,61 A
VI	69,39 B	59,1 B	11,57 B	MAYO	74,74C	39,79 C	31,61 A
D	62,38 C	54,9 B	10,53 B	JUNIO	55,78D	27,07 D	32,33 A
VS	90,61 A	68 A	28,6 A	JULIO	47,83E	21,51 E	30,82 A

TRAT.: Tratamiento. VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

De forma conjunta, los valores medios de cobertura total, verde y seca son significativamente mayores en los tratamientos con cubiertas sembradas de veza y desbrozadas frente a las labradas (Tabla 4.9). La cobertura total define tres grupos diferenciados estadísticamente, el tratamiento VS con una mayor cobertura, en segundo lugar el tratamiento VI y por último el D. Los menores valores de cobertura verde se dan en la cubierta espontánea, y son similares a los encontrados en cubiertas naturales en olivares de secano, sobre el 50% al inicio de la primavera (Hernández *et al.*, 2005). El óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión y las pérdidas de lluvia por interceptación, se sitúa en torno al 60% en parcelas con una pendiente media del 11% y del 65% en las parcelas con el 25% de pendiente (Belmonte *et al.*, 1989). En cualquier caso, si se tiene en cuenta el efecto del mes, se puede dividir el tiempo en dos periodos claramente diferenciados, desde el mes de diciembre hasta el primer control de las cubiertas en el mes de abril, y de mayo a julio, con valores significativamente menores para este último periodo de cobertura total y verde. Sin embargo para la cobertura seca, es a la inversa, de diciembre a abril presenta los valores significativamente menores, y tras el primer control los mayores.

Gráfico 4.9. Evolución del porcentaje de cobertura total a través de la interacción tratamiento*mes de 2003 a 2009.



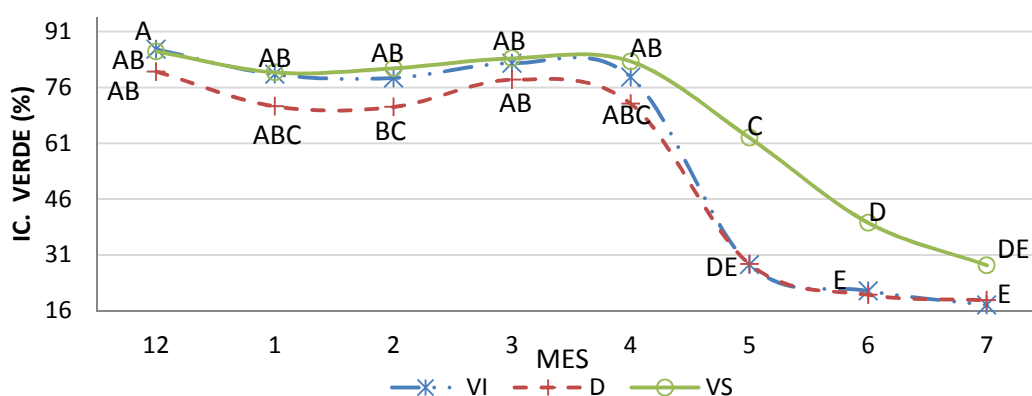
VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada). ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Si se analiza la evolución en el tiempo de la interacción tratamiento*mes (Gráfico 4.9), la cobertura total es significativamente mayor en las cubiertas desbrozadas que en las espontáneas de enero a abril, estando VI en una posición intermedia. Este comportamiento

explicaría la mejor recarga del suelo en los tratamientos sembrados a la salida del invierno. Asimismo, en los meses de marzo y abril, las cubiertas espontáneas cubren el suelo significativamente menos que las sembradas. Por otro lado, tras el primer control, la cobertura total de las cubiertas desbrozadas sigue siendo significativamente más importante frente a las cubiertas labradas hasta después del segundo control de las cubiertas. A partir del mes de mayo las cubiertas labradas (VI y D) presentan valores similares de cobertura.

En el Gráfico 4.10 se muestra como la cobertura verde cubre el suelo en torno a un 75% de diciembre a final de abril en todos los tratamientos. Sin embargo, tras el primer control, en el mes de mayo y hasta el segundo control (junio) la vegetación que cubre el suelo significativamente mejor es la de las cubiertas desbrozadas frente a las labradas. Es en el mes de julio, tras el segundo control de las cubiertas, cuando de nuevo la cobertura verde es similar para todos los tratamientos debido a la sequía propia del verano, con valores ligeramente superiores para VS. La evolución del índice de cobertura verde los años más secos, es indicador del incremento de la respiración y evapotranspiración de la cubierta.

Gráfico 4.10. Evolución del porcentaje de cobertura verde a través de la interacción tratamiento*mes de 2003 a 2009.

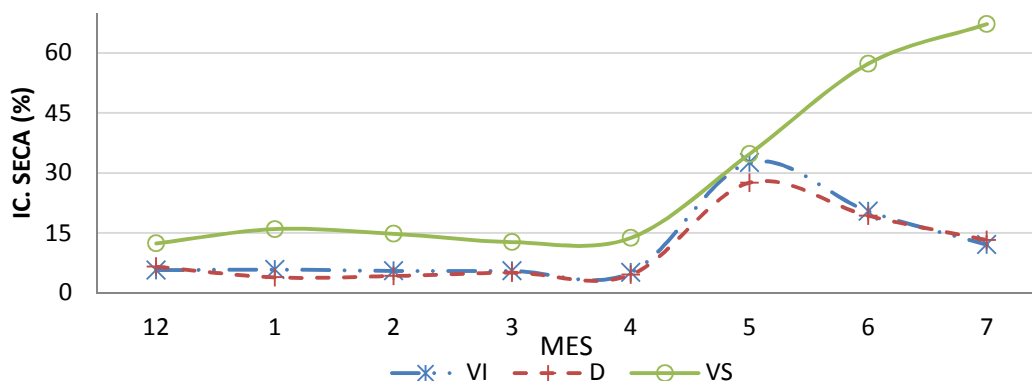


VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

En cuanto al porcentaje de cobertura seca (Gráfico 4.11), es en el tratamiento VS donde se mantiene una mayor cantidad de residuos sobre el suelo de diciembre hasta final de abril. Por otro lado, antes del primer control (abril), las cubiertas labradas presentan un porcentaje de cobertura seca de un 10%, que se corresponde con especies que ya completaron su ciclo, principalmente *Diplotaxis virgata*, junto a otras como *Capsella bursa-pastoris* o *Alyssum simplex*. Sin embargo, no es hasta el mes de mayo cuando los valores para este indicador aumentan, cubriendo el suelo entre controles hasta el 30% para todos los tratamientos. Tras el segundo control, los valores de cobertura seca son significativamente mayores en el tratamiento VS, sobre el 60%, frente a las cubiertas labradas. Es importante destacar que en los meses de septiembre y octubre la cubierta seca pasa de significar entre un 60-80% a representar tan solo un 14-20% (los años no muy secos), lo que implica que a principios de otoño, se produce la mayor parte de la descomposición de los residuos vegetales que sobre el suelo quedaron tras el control de final de primavera. Esto también significa que, mientras que la mineralización de la materia orgánica producida ese año, sucede en parte de mayo a julio

en las cubiertas labradas debido a la incorporación de los residuos en dos ocasiones (abril y junio), para el caso de las cubiertas desbrozadas, los residuos permanecen enteros sobre el suelo de mayo hasta agosto dificultando su mineralización.

Gráfico 4.11. Evolución del porcentaje de cobertura seca a través de la interacción tratamiento*mes de 2003 a 2009.



VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot).

PRODUCCIÓN DE ACEITUNA

La producción media anual de aceituna por hectárea revela diferencias entre tratamientos el tercer y sexto año de ensayo, cuando las cubiertas desbrozadas presentan una significativa menor producción de aceituna por hectárea (Tabla 4.10). En un estudio sobre distintas cubiertas y manejos del suelo en el olivar de secano durante 5 años, se obtuvieron resultados de producción de aceituna similares entre tratamientos hasta el final del estudio, cuando debido al incremento de la cobertura del suelo, comienzan a detectar diferencias entre tratamientos, con una menor producción para las cubiertas segadas (Hernández *et al.*, 2005). En el olivar de estudio, los valores tan bajos de rendimiento del cultivo registrados el tercer año (Tabla 4.10), responden al estado de los olivos tras las fuertes heladas del invierno de 2005. La reducción de un tercio del volumen de la copa del olivo ocasionó una importante pérdida de producción de la que se recuperan visiblemente el cuarto y quinto año, cuando de nuevo remontan los rendimientos con la casi total recuperación del volumen perdido.

Tabla 4.10. Rendimiento anual medio del olivar de 2004 (AÑO 1) a 2009 (AÑO 6).

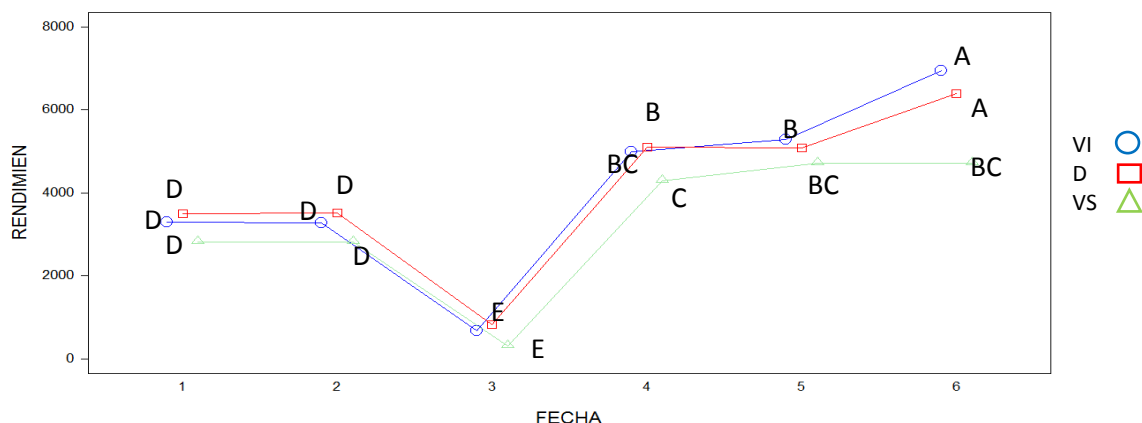
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
VI	3298,3	3286,1	680,18 A	5001	5294,7	6957,4 A
D	3503,9	3517,6	828,12 A	5102,5	5088,4	6402 A
VS	2816,9	2823,7	322,27 B	4289,1	4714,1	4723,4 B

VI: Cubierta de veza labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Cubierta de veza desbrozada. ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Cuando se analizan los datos de rendimiento del olivo a través de la evolución de la interacción del tratamiento con el año de ensayo aparecen diferencias entre tratamientos, también para el cuarto año de estudio (Gráfico 4.12), con una producción de aceituna por hectárea

significativamente menor para el tratamiento de veza desbrozada frente a los tratamientos donde la cubierta se incorpora en el suelo.

Gráfico 4.12. Evolución del rendimiento del olivar para cada tratamiento de 2004 (fecha: 1) a 2009 (fecha: 6).



Tratamientos VI: cubierta de veza labrada; D: cubierta espontánea labrada; VS: cubierta de veza desbrozada. ANOVA (Split-plot), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

El periodo de sequía que sucede desde otoño de 2004 hasta otoño de 2007 conlleva que los valores de rendimiento registrados en diciembre de 2005 (año 2) no difieran de los obtenidos el primer año de ensayo, y que a partir de diciembre de 2008 (quinto año) ya se empiece a recuperar la producción de aceituna, comportamiento que se confirma el sexto año alcanzando los mayores valores después de dos años de mayor precipitación acumulada.

CONCLUSIONES

A finales de abril, las cubiertas sembradas de veza producen más materia fresca que las espontáneas, mientras que la cubierta de veza labrada es la que resulta en un mayor contenido medio de materia seca debido a una mayor producción de biomasa por parte de la veza.

La veza en alta densidad compite principalmente por la luz y el agua con la fracción no sembrada, haciendo que ésta produzca menos biomasa. Sin embargo, la presencia de la veza en menor densidad estimula la producción de biomasa de las adventicias. De abril a junio, la producción de biomasa fresca y seca en las cubiertas desbrozadas es mucho más importante que en el resto de tratamientos.

La veza sembrada de las cubiertas labradas representa de media una cuarta parte de la materia seca producida, mientras que en las cubiertas desbrozadas su representación media no alcanza la décima parte. Por otro lado, la importante proporción de leguminosas silvestres presentes en las cubiertas espontáneas le confiere una óptima capacidad para enriquecer el suelo en nitrógeno.

Se confirma la limitada capacidad de rebrote de la veza tras el desbrozado, mientras que en años con primaveras muy húmedas y alta producción de biomasa de veza en el mes de abril, permite cierta resiembra tras incorporarla al suelo con los restos vegetales. También se

observa como la capacidad de rebrote de la veza es mayor cuando más tempranamente se desbroza.

Tanto los indicadores de biomasa producida, como los de cobertura del suelo, se maximizan en el mes de abril pero con diferencias entre tratamientos. Las cubiertas espontáneas, a pesar de producir más de 11.000 Kg/ha de materia fresca el año más húmedo, no llega a cubrir las tres cuartas partes del suelo en abril, mientras que las sembradas lo cubren prácticamente en su totalidad. Esto es debido a la estructura espacial de la cubierta, que para el caso de la espontánea es predominantemente vertical, con predominio de crucíferas tempranas y gramíneas erectas. Las especies utilizadas como cubiertas deben ser capaces de cubrir el suelo horizontalmente (a baja o media altura) y/o promover la proliferación de otras especies con este tipo de crecimiento.

La cubierta desbrozada es la que contiene un mayor porcentaje de agua en su biomasa aérea antes del primer control de las cubiertas. La humedad contenida en la vegetación tiene relación con el estado fenológico de cada fracción en el mes de abril; las plantas adventicias de las cubiertas labradas están más lignificadas y las de la cubierta desbrozada más verdes. Por el contrario, antes del segundo control, es la cubierta desbrozada la que contiene menos agua debido a la madurez-senescencia de gran parte de su vegetación, frente a las cubiertas labradas, más jóvenes en junio.

La cubierta de veza desbrozada es la única que mantiene una cobertura total del suelo en torno al 90% durante todo el año, y una mayor cobertura verde de noviembre a julio. La incorporación de la cubierta en los primeros centímetros del suelo, limita mucho la presencia de restos vegetales secos sobre el suelo de abril a junio. A final de abril las cubiertas labradas presentan un pequeño porcentaje de cobertura seca que se corresponde con especies que ya completaron su ciclo. La cantidad de residuos secos sobre el suelo tras el primer control, depende de la biomasa producida en abril y la profundidad de laboreo. Tras el segundo control de las cubiertas, la cobertura viva de las desbrozadas se reduce en una tercera parte, pero mantiene un acolchado de restos vegetales secos sobre el suelo que permite que éste sea el tratamiento que mantiene el suelo totalmente protegido hasta el mes de agosto. Por el contrario, la cobertura verde junto a la seca de las cubiertas labradas, tan solo llegan a cubrir una tercera parte del suelo entre controles si la primavera es húmeda.

La siembra de cubiertas de veza manejada con laboreo superficial promueve un mayor rendimiento del olivar, mientras que, con valores ligeramente inferiores de producción de aceituna, se encuentra la cubierta espontánea labrada. Los valores de rendimiento del olivar con cubierta desbrozada son los más bajos, aunque sin diferencias estadísticas frente a los labrados hasta el último año, cuando se confirma el cambio en la composición florística de la cubierta desbrozada.

BIBLIOGRAFÍA

- BLEVINS, R. L. (1986). Idoneidad del suelo para el laboreo nulo. En Phillips R.E., & Phillips S.H. *Agricultura sin laboreo*. Ed. Bellaterra, Barcelona. pp. 44-68.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1979). *Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume, Madrid.
- CASTRO, J., FERNÁNDEZ ONDOÑO, E., RODRÍGUEZ, C., LALLENA, A.M., SIERRA, M., & AGUILAR, J. (2008). Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain). *Soil and Tillage Research*, 98(1): 56-67.
- HERNÁNDEZ, A.J., LACASTA, C., & PASTOR, J. (2000). "Cubiertas vegetales para un viñedo ecológico en zonas semiáridas". En *IV Congreso Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Córdoba, 19-23 de septiembre de 2000. Disponible en: <http://www.uib.es/catedra_iberoamericana/publicaciones/seae/mesa7/vinyedo.html> [Consulta: 09/11/2007]
- HERNÁNDEZ, A.J., LACASTA, C., & PASTOR, J. (2005). Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management*, 77(1): 232-248.
- HUMANES, M., & PASTOR, M. (1995). "Comparación de los sistemas de siega química y mecánica para el manejo de cubiertas de veza (*Vicia sativa* L.) en las interlíneas de los olivos". En *Actas Sociedad Española de Malherbología, Congreso 1995*, Huesca 14-16 de noviembre de 1995, pp. 235-238.
- MONTALVO, J., DE MIGUEL, J. M., SCHMITZ, M. F., CRIADO, B. G., & PINEDA, F. D. (1988). Calidad de la hierba y sucesión secundaria en un pastizal mediterráneo. En VV.AA. *Homenaje a Pedro Montserrat*. Instituto de Estudios Altoaragoneses e Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), Huesca, Jaca. pp. 837-846.
- MUÑOZ-COBO, M. P. (1999). El agua y la erosión, parámetros determinantes del futuro del olivar. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 808: 928-929.
- PASTOR, J., LACASTA, C., & HERNÁNDEZ, A. J. (2000). Evaluación de las cubiertas vegetales en el olivar de una zona semiárida del centro de España. *Edafología*, 7(2): 165-175.
- PASTOR, M. (1989). Influencia de las malas hierbas sobre la evolución del contenido de agua en el suelo en olivar de secano. *Olivae*, 28: 32-37.
- PASTOR, M., CASTRO, J., HUMANES, M.D., & SAAVEDRA, M. (1997). *La erosión y el olivar: cultivo con cubierta vegetal*. Comunicación I+D Agroalimentaria 22/97. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. 24p.
- PIMENTEL, D., NAFUS, D., VERGARA, W., PAPAJ, D., JACONETTA, L., WULFE, M., ... & MENDOZA, E. (1978). Biological solar energy conversion and US energy policy. *BioScience*, 28(6), 376-382.
- RAMOS, M.E., BENÍTEZ, E., GARCÍA, P.A., & ROBLES, A.B. (2010). Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. *Applied Soil Ecology*, 44(1): 6-14.

SANS, F. X., BERNER, A., DUBOIS, D., & MÄDER, P. (2006). "Efecto del laboreo, la fertilización y los preparados biodinámicos sobre la abundancia y la estructura de las comunidades arvenses en cultivos herbáceos anuales". En *VII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, Zaragoza, 18-23 septiembre de 2006. Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Nº 165.

SERRATO, F. B., BERMÚDEZ, F. L., LAGUNA, E. H., & DÍAZ, M. A. R. (1999). Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. *Papeles de Geografía*, 30, 5-16.

TERRADAS, J. (2001). *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega, Barcelona. 703p.

INTERPRETACIÓN GLOBAL

Bajo las mismas condiciones climáticas y técnicas de cultivo, el tipo de manejo del suelo es el principal responsable de la tipología de la vegetación que se registra en cada uno de los tratamientos. Además, la siembra de veza y su mejor o peor establecimiento, junto a la interacción con el tipo de control, también contribuye a modificar la estructura florística. Asimismo, el tipo de vegetación está ligado estrechamente al tipo de sustrato sobre el que se establece (humedad, MO, N, pH, textura, etc.). El tipo de cubierta y su control modifican tras seis años la funcionalidad de la vegetación herbácea presente en cada tratamiento.

La distinta funcionalidad de las cubiertas afecta tanto a la estructura y fertilidad del suelo como a la capacidad de regular el contenido de agua, y a la productividad del agroecosistema. Además, también afecta a la manera como se relacionan los distintos componentes de la biodiversidad dentro del sistema y con los sistemas que le rodean, incluyendo a los agricultores y a las actividades económicas derivadas en finca o a nivel comarcal. Sus efectos traspasan los límites de la parcela y suponen una modificación del riesgo de contaminación de aguas y suelos, de la regulación de agua en las cuencas, de la capacidad de capturar carbono y reducir las emisiones, de la capacidad potencial de alimentar al ganado y servir de pasto, a la conservación de especies mediterráneas y endémicas, etc. Cada cubierta provee de estos servicios ecosistémicos generales en distinto grado.

El cambio de flora en las cubiertas desbrozadas es a la vez causa y efecto de un cambio en el contenido de nutrientes del suelo relacionado con la acumulación de materia orgánica y el ciclo del nitrógeno, cuya dinámica se encuentra limitada por el contenido de agua en el suelo. La alta acumulación de materia orgánica y nitrógeno en superficie promueve la aparición de plantas adventicias con órganos subterráneos de almacenamiento que utilizan este exceso de nitrógeno y el no laboreo para perennizar y desviar parte del agua contenida en el suelo para finalizar su ciclo entre controles.

A pesar de que la cubierta de veza labrada presenta una alta diversidad funcional, su interés en relación a los demás componentes de la diversidad y posibles aprovechamientos se reduce al estar limitada su presencia sobre el suelo a un periodo más corto de tiempo. Debido a la gran cantidad de nutrientes y energía almacenados en los suelos desbrozados y la mayor permanencia de la vegetación sobre el suelo, sucede una mayor sincronización de la demanda y la disponibilidad de nutrientes durante todo el año en este tratamiento. Asimismo, no mover el suelo durante el estudio conlleva la aparición de estrategias por parte de la flora y el suelo centradas en el almacenaje y la acumulación de nutrientes y agua. La estabilidad y resiliencia del sistema a largo plazo está relacionada con el tiempo que permanece la cubierta sobre el suelo y el tipo de control.

La siembra de veza y su buen establecimiento conlleva el sombreado del suelo, lo que hace proliferar un estrato bajo tolerante a la sombra que cubre el suelo horizontalmente y con una notable producción de biomasa. Esta relación de facilitación contribuye a proteger mejor el suelo frente a la erosión hídrica y a reducir las salidas de agua por evaporación y erosión. La siembra de veza resulta en un alto contenido de materia orgánica y un incremento del valor

del coeficiente de intercambio catiónico en los diez primeros centímetros de suelo. Asimismo, es donde se registran los mayores contenidos de potasio de cambio, de biomasa producida, valor nutritivo y fertilizante, y una mayor capacidad de almacenar agua durante el otoño-invierno, con cubiertas que cubren mejor el suelo horizontalmente.

Los indicadores relacionados con la protección del suelo frente a los procesos erosivos y los indicadores ligados a la fertilidad del suelo, se maximizan en las cubiertas desbrozadas, con las implicaciones que ello tiene a nivel de conservación de agua y de suelo en el agroecosistema al reducir las salidas por erosión, por lo que resulta ser la mejor opción para recuperar los suelos degradados y limitar los procesos erosivos al mejorar su estructura y cobertura. La cubierta de veza desbrozada almacena un mayor contenido de carbono en el suelo y en la biomasa aérea y subterránea, por lo que también es la mejor opción para reducir la pérdida de nutrientes por escorrentía, por lixiviación y de agua por percolación, limitando la contaminación y la eutrofización de las aguas en los cursos de agua cercanos, superficiales y subterráneos.

Las cubiertas desbrozadas, a pesar todas las ventajas que tiene a nivel de diversidad y funcionalidad, implican siempre entre controles un mayor consumo de agua hasta el mes de junio debido al rebrote. Además, la inversión de la flora supone un coste en agua que no se ve compensado por la mayor capacidad de recarga durante el periodo de infiltración. La acumulación de carbono y materia orgánica en los primeros centímetros, produce un incremento de la fertilidad y la capacidad de retener agua, lo que propicia que este exceso de energía presente sea aprovechado por un grupo de plantas con una estrategia vital basada en el almacenamiento de energía en órganos subterráneos perennizantes, y grandes hojas verdes en forma de roseta, cuya germinación no se ve inhibida por la acumulación de materia orgánica en superficie. Este comportamiento se refleja en la evolución del hemicriptófito rosulado *Crepis vesicaria*. Para sostener esta mayor complejidad, y la proliferación de estas grandes asteráceas dominantes hace falta agua en un momento del año que es necesaria para el olivo, lo que finalmente repercute en una producción de aceituna significativamente menor el último año, cuando el grupo Perennizantes es más abundante y frecuente.

El distinto ritmo fenológico y la abundancia de formas vitales que tienden a perennizar en la cubierta desbrozada se refleja en la menor relación C/N de la cubierta en el mes de abril y un mayor contenido de agua en la vegetación arvense. La cubierta de veza desbrozada se mantiene más verde hasta el primer control, mientras que en las cubiertas labradas la vegetación en esta fecha está más lignificada. Asimismo, el agua contenida en la vegetación es un 2-3% mayor a la que contienen las adventicias en las cubiertas labradas. Ambos factores están relacionados directamente con el distinto patrón de uso de los recursos (nutrientes y agua) entre cubiertas. La cubierta desbrozada procura una mayor capacidad de almacenar agua en el suelo pero también en la vegetación. Tanto la posición de los residuos, la composición de los mismos (florística, C/N) y el contenido de humedad del suelo determinan la velocidad de mineralización de los restos vegetales y por tanto su valor como abono verde de primavera.

Cuando se siembra una especie como cubierta a alta densidad, y se establece adecuadamente, ésta se torna dominante y guía de muchos de los procesos que suceden en el sistema suelo-

planta. Por ejemplo, la siembra de veza como cubierta y su manejo como un abono verde, incorporándola al suelo mediante laboreo supone una mayor intensificación del sistema. Esta mayor intensificación se refleja en una maximización de valores de producción de biomasa, valor nutritivo, valor fertilizante, agua útil en los primeros centímetros de suelo y mayor producción de aceituna. El suelo y las cubiertas de veza labrada presentan un metabolismo más rápido, relacionado con la permanencia sobre el suelo durante un periodo más corto de tiempo. Esto se refleja en el contenido de nitratos disponibles en el suelo en los primeros 15 cm en abril, y en la proliferación de rasgos funcionales relacionados con un crecimiento rápido de la vegetación.

La cubierta espontánea labrada es la que presenta una estructura más simplificada, dominada por terófitos erectos de talla media-alta y floración temprana. Esta estructura sombrea menos el suelo por lo que el estrato bajo no acumula tanta biomasa como en el resto de cubiertas. La cubierta espontánea labrada se asemeja más a un herbazal que a un pastizal, y posee un valor nutritivo bajo y un valor fertilizante en nitrógeno medio-bajo. La alta densidad de crucíferas y gramíneas en este tratamiento implica que esta sea la cubierta con una mayor relación C/N en el mes de abril. Cabe destacar el importante aporte de carbono que supone la cubierta con su incorporación al suelo. Además, la floración temprana de los jaramagos implica que antes del segundo control se encuentren secos, aumentando el contenido en fibra, y reduciendo la cobertura verde.

La simplificación de la estructura y la dinámica de las cubiertas espontáneas hacen que sea la menos demandante en recursos, ya que se encuentra adaptada a las condiciones limitantes de sequedad y pobreza del suelo. Las cubiertas espontáneas labradas son las que, en los años muy secos, contienen una mayor cantidad de agua en el perfil más profundo hasta el mes de junio. Sin embargo, los años en que el grupo funcional Competitivas supera el 10% en su abundancia relativa y los 50 individuos/m², el contenido de agua en el perfil más profundo es significativamente inferior en el mes de marzo en las cubiertas espontáneas frente a las sembradas a pesar de tratarse de años con otoño-invierno húmedos. Este hecho implica que es la cubierta espontánea la que requiere un control más temprano.

A pesar de ser la cubierta con una estructura más simplificada, pasar del gradeo al laboreo superficial ha supuesto un incremento de la densidad de individuos totales y de la cantidad de biomasa producida, que se refleja en un correcto índice de cobertura. Ciertamente la capacidad de cubrir el suelo y protegerlo ante los agentes erosivos, no depende tanto de la biomasa producida como de la estructura espacial de la cubierta, es decir de su estratificación y capacidad de crecer horizontalmente. El desbrozado de la cubierta supone por si sólo un eficaz método para fomentar el crecimiento horizontal de la vegetación frente al vertical, y por tanto facilitar también el sombreado del suelo. Por este motivo, una buena manera de mejorar la cobertura de la cubierta espontánea horizontalmente, sería mediante desbrozado, lo que a su vez no conllevaría la inversión de la flora al mantener un suelo más pobre en nutrientes.

El mayor coste que supone el establecimiento de cubiertas sembradas frente a las espontáneas está justificado en el caso de perseguir objetivos concretos, como el establecimiento y maduración de cubiertas en pendiente, reducir efectos de la erosión, el

aumento de la fertilidad del suelo, la transición hacia la olivicultura ecológica, la mejora de la estructura del suelo o del pasto, etc. En el caso de contar con un suelo sano y bien estructurado, con un buen nivel de materia orgánica y una cubierta madura, no es necesario ni aconsejable utilizar cubiertas sembradas sino espontáneas, ya que son las que mejor se adaptan a los distintos extremos climáticos y menos agua demandan, a la vez que no reducen el rendimiento del cultivo. Las cubiertas del olivar, podrían sembrarse con especies leguminosas silvestres o naturalizadas preexistentes, más rústicas y con menor demanda de recursos como *Medicago polymorpha*.

Para determinar el momento óptimo de la primera eliminación de las cubiertas en el olivar es importante conocer cuál es la especie, especies o grupos funcionales dominantes en la cubierta, así como su forma vital y ritmo fenológico. Asimismo, es importante saber la precipitación sucedida en los meses de otoño e invierno. En base a estos parámetros, el momento de control de las cubiertas en la zona de estudio va desde la última semana de marzo a la segunda de abril. La cubierta espontánea es la primera en florecer abundantemente por lo que se eliminará antes que las sembradas con veza los años con precipitación media. Las cubiertas de veza florecen más tarde debido a la sincronización de las arvenses con la especie sembrada, sin embargo su control no debe ser posterior a la segunda semana de abril, y se adelantará en los años con sequía invernal-primaveral.

La fertilidad real y potencial del suelo aumenta cuando se maneja adecuadamente, a pesar de ser frágil y esquelético, gracias al manejo con cubiertas vegetales y en producción ecológica. Estas son las razones de que a pesar de ser un suelo alcalino, calizo de apenas 40 cm con un horizonte petrocálcico a 20-40 cm, pendiente media, y situado en unas condiciones de semiaridez en las que la materia orgánica se mineraliza muy rápidamente, es capaz de mantener un suelo con un elevado contenido de materia orgánica y bien estructurado permitiendo que el olivar se desarrolle sin problemas.

Finalmente, el estudio muestra que existen múltiples alternativas de manejo de la diversidad herbácea en el olivar (laboreo, desbrozado, desbrozado+laboreo, pastoreo, cubierta sembrada, cubierta espontánea, rotación de cubiertas, etc.). Cada combinación de factores afectará de forma distinta a la vegetación, a su funcionalidad y a la del suelo y a la sostenibilidad del olivar a largo plazo. Por tanto, la conveniencia en el uso de una u otra cubierta y el tipo de eliminación dependerán de las particularidades del clima y los suelos de cada zona, y de las problemáticas concretas a solventar en cada parcela.

La funcionalidad de las cubiertas no se puede medir, al igual que la sostenibilidad, de un modo absoluto y con un único valor numérico, ya que es una cualidad emergente de la diversidad vegetal, que mantiene un equilibrio dinámico que se sustenta en las relaciones que se establecen entre los distintos procesos y variables evaluados. A pesar de que esta relación es constantemente cambiante, a través del manejo se puede tender hacia un tipo de vegetación y un ensamblaje concreto entre grupos de plantas que garanticen un óptimo funcionamiento de la cubierta y del suelo, y por tanto le confieran al agroecosistema una mayor sostenibilidad a largo plazo.

CONCLUSIONES GENERALES

Tanto el tipo de cubierta utilizada, el tipo de control, como la interacción entre ambos factores son en gran medida responsables de la tipología de las comunidades vegetales.

El análisis de la flora a nivel taxonómico debe complementarse con el análisis funcional para detectar los grupos funcionales de plantas dominantes más allá de su abundancia.

Para determinar si la flora presente es deseable a nivel de los procesos básicos del olivar, es necesario profundizar en el efecto que tiene sobre el contenido de agua principalmente, por ser el factor limitante.

Las cubiertas vegetales sembradas con veza mejoran el contenido de agua en el suelo a final de invierno los años medios, sin embargo es la cubierta espontánea labrada la que mantiene un mayor contenido de agua en el suelo durante el periodo de desecación en los años muy secos.

La siembra de veza como cubierta vegetal conlleva un incremento de la fertilidad general del suelo, del valor nutritivo del pasto y de su valor fertilizante, maximizándose la mejora de la estructura del suelo y su fertilidad en las cubiertas desbrozadas.

A pesar de que las cubiertas sembradas cubren mejor el suelo por una mayor producción de biomasa, la capacidad de proteger al suelo de la erosión, depende más del índice de cobertura de la vegetación, tipo de crecimiento, tamaño de las arvenses, su biotipo y permanencia sobre el suelo que de la biomasa producida

Una mayor producción de biomasa por parte de las cubiertas no implica una reducción en el rendimiento del olivar, sin embargo, el perfil ecológico y funcionalidad de la vegetación que se establece en la cubierta y su efecto sobre el balance hídrico sí afectan a la producción de aceituna.

Tanto los indicadores de biomasa, como los de cobertura del suelo, se maximizan en el mes de abril, sugiriendo el control de la vegetación antes de que esto suceda, entre la última semana de marzo y la segunda de abril para la zona de estudio.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	363
ANEXO 0.	371
ANEXO 1.A.....	375
ANEXO 1.B.	379
ANEXO 1.C.	410
ANEXO 1.D.....	454
ANEXO 1.E.	457
ANEXO 1.F.	457
ANEXO 1.G.....	458
ANEXO 2.A.....	469
ANEXO 3.A.	469
ANEXO 4.A.	469

ANEXO A

Tabla 1. Procesos patológicos aparentemente relacionados con la exposición crónica a determinados pesticidas.

Tabla 2 a 4. Especies arvenses bioindicadoras.

Tabla 5. Principales plagas del olivar y enemigos naturales asociados.

Tabla 6. Relación entre algunas especies de arvenses y la fauna benéfica atraída o asociada.

Tabla 7. Especies leguminosas útiles como cubiertas vegetales y abonos verdes en leñosos.

Tabla 8. Plantas con efecto desherbante.

Tabla 9. Manejo y control de cubiertas vegetales.

Tabla 1. Procesos patológicos aparentemente relacionados con la exposición crónica a determinados pesticidas.

PROCESOS FISIOPATOLÓGICOS	ESTUDIOS	PESTICIDAS RELACIONADOS
CÁNCER		
Mieloma múltiple	5	Glifosato, Atrazina, Alacloro
Leucemias	1	Alacloro, DDT
Linfomas no Hodgkin	7	Atrazina, Acefato, Alaclor, Carbaril, *2-4-D, * triazina
Pulmón	2	Atrazina, Clorpirifos, Diazinon, Metacloro
Vejiga	1	Atrazina
Piel	1	Herbicidas
Otros: próstata, páncreas, hígado	1	Herbicidas, insecticidas y fungicidas
*Estómago		Nitratos, plaguicidas
ALTERACIONES DEL CICLO CELULAR		
Experimentales	2	Glifosato, ** Endosulfán
Humanos (estudios epidemiológico)	1	Organofosforados
*Daños función reproductora		Nematicidas, Organoclorados, nitratos
Daños en el sistema nervioso		**Endosulfán, *Mercurio y *Cadmio
*Metahemoglobinemia		Nitratos
PARKINSON		
Estudios experimentales	1	Rotenona
ALTERACIONES GASTROINTESTINALES		
Estudios experimentales	1	*Dicuat, Rotenona
EFFECTOS INMUNOLÓGICOS		
Asma infantil y persistencia	7	Piretroides sintéticos, DDT, DDE
Infecciones respiratorias en niños	6	Organoclorados

Fuente: Elaboración propia a partir de (Villarrubia *et al.*, 2006; *Alonso & Guzmán 2004b; **INE, 2011).

Tabla 2. Especies indicadoras de la estructura del suelo (Boira en Domínguez *et al.* 2002)

TEXTURA	
>75% ARENA	< 40% ARENA
<i>Emex spinosa</i> ; <i>Diplotaxis virgata</i> ; <i>Arabidopsis thaliana</i> ; <i>Linaria arvensis</i> ; <i>Urtica urens</i> ; <i>Asparagus officinalis</i>	<i>Atriplex postrata</i> ; <i>Beta vulgaris</i>
ESTRUCTURA	
Bien aireado	Asfixia
<i>Veronica spp.</i> ; <i>Fumaria officinalis</i> ; <i>F. capreolata</i> ; <i>Euphorbia peplus</i> ; <i>Urtica urens</i> ; <i>Heliotropium europaeum</i> ; <i>Poaceartulaca oleracea</i> ; <i>Senecio vulgaris</i>	<i>Equisetum arvense</i> ; <i>Mentha suaveolens</i> ; <i>Ranunculus bulbosus</i> ; <i>Lycopus europaeus</i> ; <i>Veronica anagallis-aquatica</i>
CONDUCTIVIDAD	
> 5 mmhos/cm	< 2 mmhos/cm
<i>Atriplex postrata</i> (>10); <i>Cyperus rotundus</i> ; <i>Setaria adhaerens</i> ; <i>Portulaca oleracea</i>	<i>Diplotaxis virgata</i> ; <i>Papaver dubium</i> ; <i>Euphorbia peplus</i> ; <i>Emex spinosa</i> ; <i>Urtica urens</i>

Tabla 3. Importancia de ciertas plantas como alimento para aves e insectos (Lampkin, 2001)

	Aves	Himenópteros		Escarabajos		Mariposas	
		Adulto	Larva	Adulto	Larva	Adulto	Larva
Cardo cundidor	X	X	X	X	X	X	X
Gualda		X		X	X	X	X
Malva pequeña	X	X		X	X	X	X
Artemisa			X	X	X		X
Pajarita	X	X	X	X	X	X	X
Hierba de San Gerardo		X		X	X	X	X
Ortiga mayor				X	X		X
Zurrón de pastor	X	X		X	X		
Lapa	X			X	X		X
Escarola	X	X	X	X	X	X	X
Botón de oro rastrero		X		X	X	X	X
Viborera		X		X	X	X	X
Belladona		X		X	X	X	
Margarita inodora					X		X
Corregüela de los caminos	X			X	X	X	X
Pamplina		X		X	X	X	X
Hierba de los cantores				X	X	X	X
Ortiga muerta		X			X	X	X
Zanahoria silvestre	X	X		X	X	X	X
Campanilla mayor	X	X		X	X	X	X

Tabla 4. Herbáceas indicadoras de la estructura del suelo y el nivel de nutrientes.

Estructura/humedad	Friabilidad	Nivel de nutrientes	pH
Compactación grave	Muy baja	Moderada	Suelos calcáreos
Argentina; Tanaceto; Llantén mayor; Hierba perla rastrera	Gramma de olor; Cola de caballo; Junco de rana; Espejillo de oveja	Lluego; Margarita inodora; Mastuerzo de prado; Alquimila; Pajarera fina; Esparcilla; Estrellada; No me olvides común; Zurrón de pastor; Pensamiento de campo	Esparceta; Pensamiento; Lechetreznilla romeral; Arvense azulejo; Pinillo oloroso; Cadillos; Oreja de ratón; Collejón; Espejillo de oveja; Perfoliada; Hierba coral; Amapola; Mostaza; Azulillo; Colleja nocturna
Mal drenaje	Baja	Alto en nitrógeno	Suelos neutros
Botón de oro; Hierbabuena de burro; Cola de caballo; Argentina; Tusilago; Pamplina basta; Mastranzo; Pie de gato; Bérrula; Carrizo	Mostaza; Manzanilla común; Mastuerzo de prado; Agrostides sedosa; Manzanilla; Alquimia arvense; Rábano silvestre; Escleranto anual; Raponchigo rastrero; Viborera	Bledo; Hierba cana; Mercurial; Ortiga mayor y menor; Cenizo; Hierba de San Gerardo; Soldado galante; Romazas; Cerrajas; Hierba mora	
Bien aireado y húmedo	Moderada	Rico en nutrientes	Espejillo de oveja; Mijo de sol agreste; Pamplina
Verónicas; Fumaria; Ortiga muerta; No me olvides común; Pamplina; Esparcilla, Lecherina, Ortiga menor, Heliotropo, Verdolaga, Hierba cana	Manzanilla edionda; Avena loca; Consuelda; Mijo del sol agreste	Colleja blanca; Lapa; Ortiga muerta; Digitalia; Pamplina; Borraja; Carmelitilla; Oreja de ratón; Agróstide sedosa; Hierba perla rastrera; Bledo rabogato; Cardo cundidor; Lechetreznilla; Fumaria; Mostaza; Armuelle; Telaspio; Duraznillo; Verónica; Solanáceas; Crucíferas	Deficiente en Ca
Abiertos y sueltos	Friable	Déficit de nutrientes	Esparcilla encarnada; Viborera; estrellada; Hierba perla rastrera; Pata de liebre; Alquimia arvense; Pan y queso
Consuelda; Collejas; Milengrana; Raponchigo rastrero; Esparcilla encarnada; Bledo	Polígono trepador; Cenizo; Ortiga muerta; Corregüela de los caminos; Pata de perdiz; Pimienta de agua; Bledo	Leguminosas; Collejas; Milengrana; Esparcilla; Pinillo oloroso; Hierba de la rabia; Borrosa; Acederilla; Escleranto; Pan y queso; Trinitaria; Rábano silvestre; Verónica; Botón azul	Suelos ácidos
Secos y pedregosos	Muy friable (humus alto)	Bajo en potasio	Galeopsida; Hierba del gato; Acebo; Esparcilla; Acedera; Llantén; Pensamiento; Cola de caballo; Mastuerzo de prado; Pajarera fina común; Oreja de ratón; Rábano silvestre; Escleranto anual; Verónica y Manzanilla bastarda; Helechos
>75% Arena	Lechetreznas; Malcoraje; Pamplina; Soldado galante; Verónica; Ortiga menor; Hierba cana; Cenizo; Ortiga mayor; Cerraja; Diente de León	Bajo en fósforo	
Romaza; Jaramago; Oruga fina; Linaria azul de hoja estrecha; Ortiga menor; Esparraguera		<i>Llantén menor; Romaza</i>	
< 40% Arena		<i>Ipomea purpurea; Cassia obtusifolia</i>	
Armuelle; Acelga			

Fuente: Elaboración propia a partir de Lampkin, 2001; Domínguez et al., 2002 y Altieri y Nicholls, 2007

Tabla 5. Principales plagas del olivar, enemigos naturales asociados y prácticas culturales que limitan su desarrollo

PLAGA	PARASITOIDES	DEPREDADORES	HONGOS Y OTROS	PRÁCTICAS CULTURALES
Mosca del olivo (<i>Bactrocera oleae</i>)	<i>Eupelmus urozonus</i> ; <i>Pnigalio mediterraneus</i> ; <i>Eurytoma martellii</i> ; <i>Cyrtotypx latipes</i> Y <i>Psytalia concolor</i>	Trepador azul; Agateador común; Golondrinas; Aviones; Vencejos; Martinetes	Hongos entomopatógenos autóctonos: <i>Beauveria bassiana</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i> ; Nemátodo: <i>Steinernema feltiae</i>	Racionalizar el riego y evitar recolecciones tardías
Polilla del olivo (<i>Prays oleae</i>)	<i>Ageniaspis fuscicollis</i> var. <i>Praysincola</i> ; <i>Chelonus eleaphilus</i> ; <i>Elasmus flabelatus</i> ; <i>Apanteles xanthostigmus</i> ; <i>Trichogramma</i>	<i>Chrysoperla carnea</i> ; hormigas; heterópteros y coleópteros; Trepador azul; Agateador común; Golondrinas; Aviones; Vencejos; Martinetes; Chotacabras; Búhos; Lechuzas; Autillos; Mochuelos	Hongos entomopatógenos autóctonos del suelo: <i>Beauveria bassiana</i>	Minimizar pases de labranza, retirar leña de poda y triturar los restos
Cochinilla de la tizne (<i>Saissetia oleae</i>)	<i>Metaphycushelvolus</i> ; <i>Metaphycus lounsburyi</i> ; <i>Metaphycus flavus</i> ; <i>Diversinervuselegans</i> ; <i>Coccophagus lycimnia</i> ; <i>Coccophagus cowperi</i> y <i>Coccophagus scutellaris</i> .	<i>Chrysoperla carnea</i> ; <i>Exochomus quadripustulatus</i> ; <i>Chilocorus bipustulatus</i> ; <i>Scutellista cyanea</i> y <i>Eublemma scitula</i> .		Racionalizar el uso de abonos nitrogenados y de riego, realizar una poda que favorezca la aireación y no realizar podas severas
Glifodes (<i>Margaronia unionalis</i>)	<i>Apanteles hemara</i> y <i>Oomyzus sp.</i> ;			Racionalizar el uso de abonos nitrogenados y de riego
Euzofera (<i>Euzophera pinguis</i>)	<i>Iconell myelolenta</i> y <i>Phanerotoma oculares</i>	Arañas y heterópteros; Pájaros de la familia <i>Picidae</i> ; Oropéndula; Cuculillo; Arrendajo; Golondrinas; Aviones; Vencejos; Martinetes; Chotacabras; Búhos; Lechuzas; Autillos; Mochuelos	Hongos entomopatógenos: <i>Beauveria bassiana</i>	Fertilización equilibrada, minimizar los pases de labranza, evitar heridas de poda y por vareo aplicar cicatrizante en heridas de poda, granizo y al retirar las varetas
Barrenillo del olivo (<i>Phloeotribus scarabaeoides</i>)	<i>Cheiopachus quadrum</i> ; <i>Raphitelus maculatus</i> y <i>Dendrosoter protuberans</i>	<i>Thanasius formicarius</i> ; hormigas; ácaros y pseudoescorpiones		Minimizar pases de labranza, retirar leña de poda y triturar los restos
Algodoncillo (<i>Euphyllura olivina</i>)	<i>Psyllaephagus euphyllurae</i> ; <i>Elasmus sp.</i> ; <i>Tetrastichus sp.</i>	<i>Chrysoperla carnea</i> ; <i>Anthocoris nemoralis</i> y <i>Xanthandrus comtus</i> .		
Escarabajo picudo (<i>Otiorrhynus cribiocollis</i>)		Cernícalo; Golondrinas; Aviones; Vencejos; Murciélagos		Racionalizar el riego; en olivos viejos dejar las varetas y en los jóvenes quitarlas antes de que lignifiquen

Tabla 6. Relación entre algunas especies de arvenses y la fauna benéfica atraída o asociada.

Planta/s	Fauna benéfica asociada
<i>Borrago officinalis</i> , <i>Centaurea cyanus</i> , <i>Papaver roheas</i>	70 depredadores/m2
<i>Brassica</i> , <i>Sinapis</i> , <i>Raphanus</i>	Sírfidos afidófagos
<i>Bromus</i> , <i>Festuca</i> , <i>Lolium</i> , <i>Vicia</i> , <i>Tragopogon</i> , <i>Carduus</i>	Hospedadores de pulgones
<i>Neguillón</i> <i>Pie de liebre</i> , <i>Viborera</i> , <i>Hierba de asno</i> , <i>Cártamo silvestre</i>	Oviposición de crisopa
<i>Umbelíferas</i>	Crisopas; taquínidos e icneumonídeos
<i>A. retroflexus</i> (Bledo), <i>C. album</i> (Cenizo), <i>X. strumarium</i> (Cadillo)	Sírfidos, mariquitas y crisopas
<i>Barbarea vulgaris</i> , <i>Daucus carota</i>	Icneumonídeo parasitoide
<i>Pasacaminos</i> , <i>Pamplina</i> , <i>Visnaga</i> , <i>Hinojo</i> y <i>Cerraja</i>	Artrópodos benéficos
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Himenópteros, sírfidos y crisopas
<i>Cereales</i>	Homópteros, colémbolos y parasitoides
<i>Fagopyrum esculentum</i>	Himenópteros parásitos, coccinélidos,
<i>Citrus spp.</i> , <i>Nerium oleander</i>	<i>S. oleae</i> , cochinillas y sus E.N
<i>Verbascum pulverulentum</i> , <i>Cichorium intybus</i> y <i>Thymus mastichina</i> , <i>Rubus ulmifolius</i> , <i>Urtica dioica</i>	Himenópteros parásitos de áfidos: Aphidiidae, Braconidae
<i>Amaranthus spp.</i>	<i>Trichogramma sp.</i> ; escarabajos de tierra
<i>Urticas spp.</i>	Entomófagos; afidófagos y coccinélidos
Brassicaceae; Diente de león y otras compuestas; Menta, Hisopo y otras aromáticas; <i>Hedera spp.</i>	Himenópteros
Trébol y otras leguminosas	Escarabajos, parásitos y afidófagos
Mostaza y otras crucíferas	Sírfidos, avispas y otros parasitoides
<i>Inula viscosa</i>	<i>Miopites stylata</i> , huésped de <i>Eupelmus</i>
<i>Brassica napus</i>	Atrae a pulgones, gorgojos y dípteros
<i>Brassica juncea</i>	Parasitoides de noctuidos
<i>Crucíferas</i>	Parasitoides generalistas; pulgones,
<i>Vicia villosa</i> , <i>Secale cereale</i>	Mariquitas

Fuente: Elaboración propia a partir de Domínguez *et al.*, 2002; Altieri & Nicholls, 2007; Duarte *et al.*, 2009.

Tabla 7. Uso de las cubiertas de leguminosas en cultivos leñosos de secano mediterráneo

Género y especie	Nombre común	Uso/Comunidad
<i>Lathyrus sativus</i>	Almorta, chícharo	GP/CD/AV
<i>Lathyrus cicera</i>	Titarro, almorta silvestre	F/GP/P/A/CD
<i>Lathyrus aphaca</i>	Alverja silvestre	F/A/CD
<i>Lupinus albus</i>	Altramuz blanco, chocho	C/GA/GP/OA/AV
<i>Lupinus luteus</i>	Altramuz amarillo	F/GP/C/AV/P/A
<i>Pisum sativum</i>	Guisante	C/GA/GP/F/AV/OA
<i>Vicia faba</i>	Haba	C/GA/GP/AV
<i>Vicia narbonensis</i>	Alverjón	GP/AV/CD/OA
<i>Vicia sativa</i>	Veza	GP/F/AV/C
<i>Vicia monanthos</i>	Algarroba	CD/GP/GA/AV
<i>Vicia ervilia</i>	Yero	C/GP/AV/F/OA
<i>Vicia villosa</i>	Arvejilla	CD/GP/F/AV
<i>Vicia articulata</i>	Moruna	F/AV/GP
<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Alholva	CD/GP/F/IQF
<i>Lens culinaris</i>	Lenteja	C/GA/F/AV
<i>Lotus corniculatus</i>	Cuernecillo del campo	F/AV/P/OA
<i>Trifolium subterraneum</i>	Trébol subterráneo	F/AV/P/OA
<i>Medicago lupulina</i>	Mielga negra	F/AV/A
<i>Medicago polymorpha</i>	Carretón mayor	F/A/P
<i>Medicago minima</i>	Carretón menor	Pastizales
<i>Medicago orbicularis</i>	Mielga de caracolillo	Arvense
<i>Medicago truncatula</i>	Carretón de barrilete	Pastizales y arvense
<i>Medicago rugosa</i>		Abono verde
<i>Lupinus angustifolius</i>	Altramuz de hoja estrecha	Pastizales
<i>Lupinus hispanicus</i>	Alberjón, altramuz silvestre	Pastizales
<i>Lupinus cosentinii</i>	Altramuz peludo	Pastizales
<i>Vicia benghalensis</i>	Veza púrpura	Arvense
<i>Vicia hirsuta</i>	Alverjón	Arvense
<i>Vicia hybrida</i>	Haba loca	Arvense
<i>Vicia peregrina</i>	Peregrina	Arvense
<i>Lens nigricans</i>	Lenteja silvestre	Pastizales

AV: abono verde; GP: grano pienso; GA: grano alimentación; F: forraje; A: Arvense; OA: ocasionalmente arvense; P: Pastizal; C: cultivada; CD: cultivada en desuso; IQF: Industria química y farmacéutica. Fuente: Elaboración propia a partir de Jambrina & Crespo, 1984; Jubete, 1990; Goñi *et al.*, 2004; Luelmo *et al.*, 2009.

Tabla 8. Plantas con efecto desherbante.

Especies con efecto desherbante	Especies inhibidas
Girasol	Cañota, Castañuela, Verdolaga y Moco de pavo
Cebada	Pamplina y Bolsa de pastor
Papaver spp.	Trigo, Avena
Coles	Gramas del norte, avena, centeno
Mostaza	Gramíneas, Moco de pavo, Cenizo
Rábano forrajero o colza	Crucíferas adventicias
Pasto del Sudán o sorgo bicolor	Juncea, Grama, Cañota
Avena, bromo, centeno, triticale	Avena loca, Lolium sp., Cola de zorra
Alfalfa	Cenizo, Moco de pavo, Digitaria

Fuente: Elaboración a partir de Liebman & Davis, 2000; Domínguez *et al.*, 2002; Alcántara 2005; Blanco, 2006.

Tabla 9. Manejo y control de cubiertas vegetales (Foraster *et al.*, 2011)

PENDIENTE Y EROSIÓN	CALIDAD Y CANTIDAD CUBIERTA INICIAL	TIPO DE CUBIERTA A IMPLANTAR	TIPO DE CONTROL	MADURACIÓN DE LA CUBIERTA	CUBIERTAS MADURAS (5-10 AÑOS)
Alta y media pendiente (20->35%) con erosión*	Inmadura	Sembrada de leguminosas y gramíneas rastreras o de baja talla	Desbrozada (o ninguno en casos extremos de degradación del suelo)	Dejando semillar las especies leguminosas Estercolando la calle Pastoreo puntual	Mantener cubierta espontánea S/S; SD; S/L+R; SD/L+R Siembra de cubiertas cada 4-5 años (leguminosas + gramíneas)
Alta y media pendiente (20->35%) sin erosión*			Desbrozada Siega a diente		Mantener cubierta espontánea S/S; SD; S/L+R; SD/L+R Siembra de cubiertas cada 4-5 años (alternar leguminosas y crucíferas) Segundo control con labor superficial los años con sequía invierno y primavera
Media pendiente (15-25%) sin erosión*	Inmadura (abundancia de gramíneas espontáneas)	Cubierta sembrada de leguminosas	Desbrozado Laboreo superficial Pastoreo temporal Rastreo	Dejando semillar las especies leguminosas Desbrozando Estercolando la calle Pastoreo temporal	Mantener cubierta espontánea S/S; SD; S/L+R; SD/L+R; L/L+R Siembra de cubiertas cada 4-5 años (alternar leguminosas y crucíferas) Primer y segundo control con labor superficial los años con sequía invierno y primavera
Pendiente media-baja (0-20%) sin erosión*	Inmadura (abundancia de gramíneas espontáneas)	Sembrada de leguminosas (año 1) y crucíferas (año 2), etc.	Laboreo superficial Rastreo Desbrozado Siega a diente	Favorecer las familias o especies de plantas que mejoran el funcionamiento del olivar**	Mantener cubierta espontánea S/S; S/L+R; SD/L+R; L/L+R Laboreo superficial en el primer y segundo control, realizar el primer control con desbrozadora los años con inviernos e inicio de primavera húmedos y con dos desbroces los años muy húmedos Siembra de cubiertas cada 4-5 años (alternar leguminosas y crucíferas)
	Madura	Cubierta natural			

L/L+R: 1º y 2º control con labor (<15 cms) sin volteo; 2º control labor+ R:rastra o similar tras la labor; **S/S:** 1º y 2º control con siega o desbrozado mecánico; **S/L+R:** 1º control con siega o desbroce mecánico y 2º control con labor+ R:rastra; **SD:** siega a diente con ganado; **SD/L+R:** 1º control con siega a diente y 2º control con labor+ R:rastra.

*Existen cárcavas y regueros, reguerillos y erosión laminar superficial, descalce de árboles, caída de taludes, etc. **Están representados una alta diversidad de grupos funcionales distintos (leguminosas, gramíneas, compuestas, crucíferas, de pequeña talla, rastreras, tempranas con flor, tardías con flor, productoras de biomasa, con raíces profundas, con valor forrajero, con valor nutritivo como abono verde, productoras de polen y néctar, etc. y no aparecen especies agresivas dominantes.

ANEXO 0

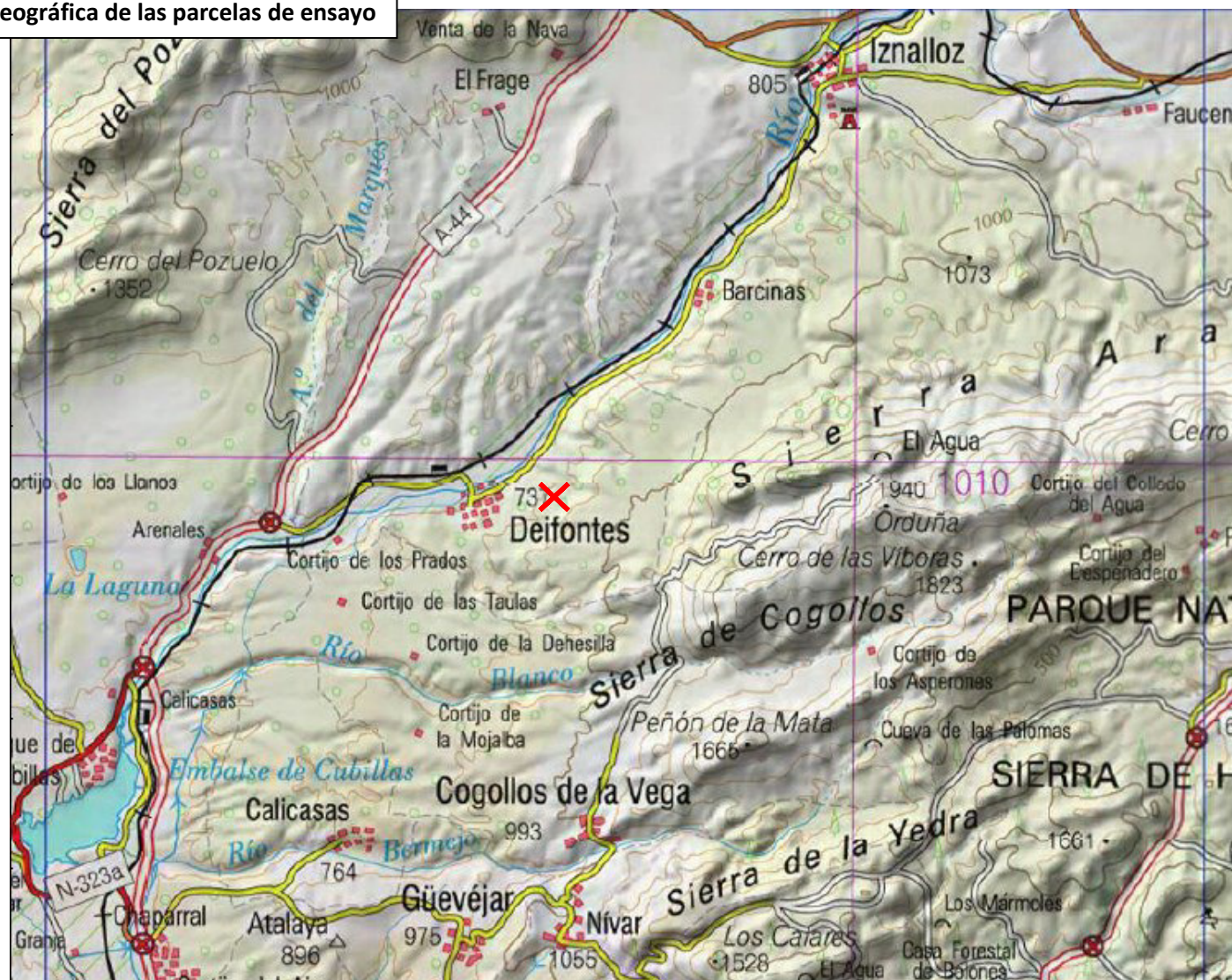
MAPAS DE SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

PARCELAS DE ENSAYO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

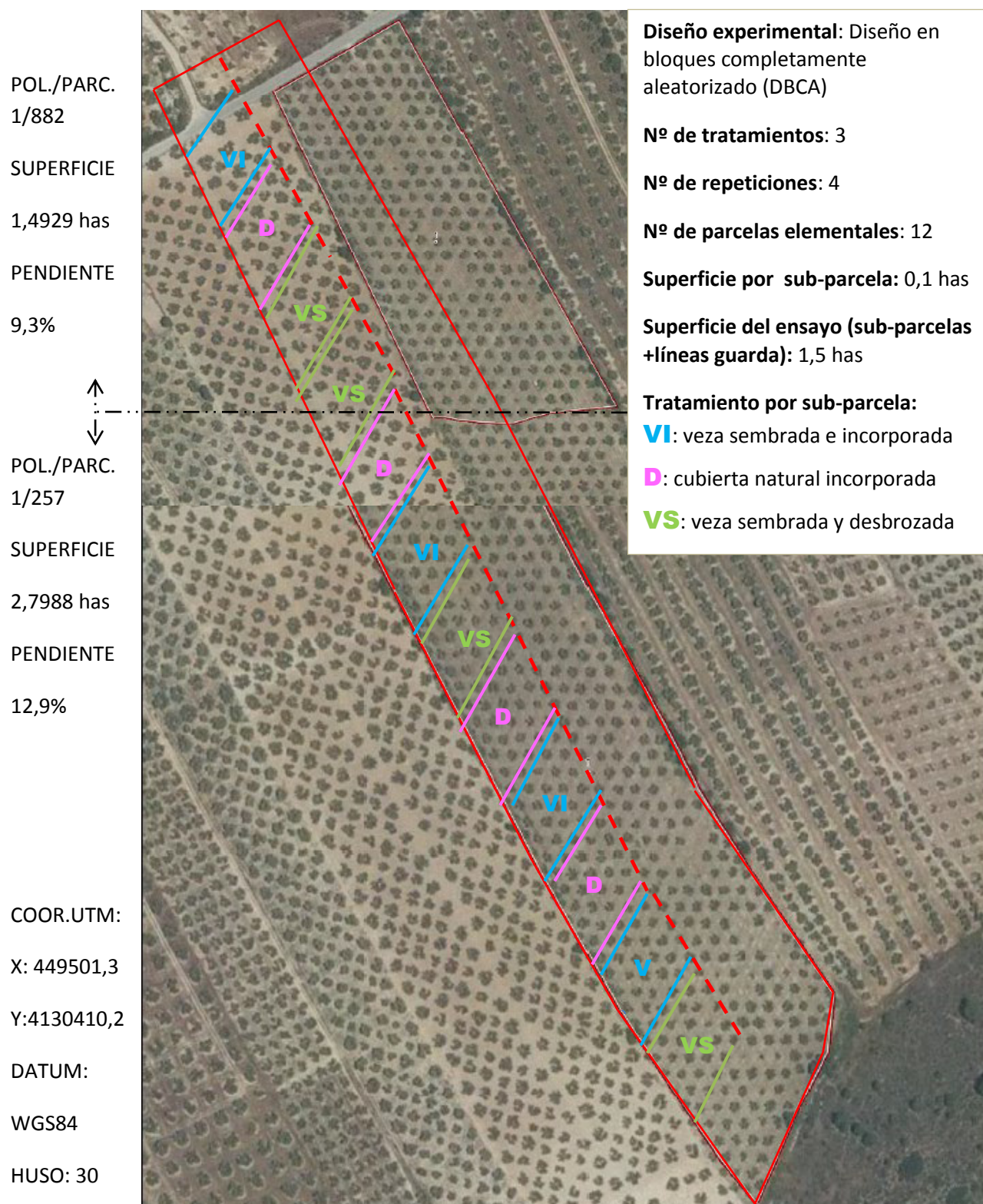
Localización geográfica de las parcelas de ensayo



Provincia de Granada
Municipio de Deifontes



ORTOFOTO Y PARCELARIO DEL OLIVAR ECOLÓGICO DONDE SE LOCALIZA EL ENSAYO. Municipio de Deifontes (Granada)



ANEXO 1.A. INVENTARIO FLORÍSTICO

Tabla 1.A. Presencia-ausencia de las especies inventariadas de 2003 a 2009 en los meses de abril y junio para cada uno de los tratamientos ensayados.

Abreviaturas incluidas en la Tabla 1.A:

VI: Tratamiento con cubierta sembrada de veza e incorporada con cultivador

D: Tratamiento con cubierta espontánea incorporada con cultivador

VS: Tratamiento con cubierta sembrada de veza y eliminada con desbrozadora

Año de muestreo: año 1(2003-2004); año 2 (2004-2005); año 3 (2005-2006); año 4 (2006-2007); año 5 (2007-2008); año 6 (2008-2009).

1er CORTE: Momento del primer control de las cubiertas (abril)

2º CORTE: Momento del segundo control de las cubiertas (junio)

CÓDIGO Familia Especie	MOMENTO MUESTREO:	ANTES 1 ^{er} CORTE																		ANTES 2 ^o CORTE					
	TRATAMIENTO:	VI						D						VS						VI	D	VS			
	AÑO DE MUESTREO:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	5	6	5	6	5	6
AMARA	AMARANTACEA																								
AMARB	<i>Amaranthus blitoides</i> S. Watson																								
APIAC	APIACEA																								
BIFOT	<i>Bifora testiculata</i> (L.) Spreng. in Roem. & Schult.																								
TORIN	<i>Torilis nodosa</i> (L.) Gaertn.																								
ASTER	ASTERACEA																								
ANACC	<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.																								
ANDRI	<i>Andryala integrifolia</i> L.																								
ANTHA	<i>Anthemis arvensis</i> L.																								
CALEA	<i>Calendula arvensis</i> L.																								
CARDP	<i>Carduus pycnocephalus</i> L.																								
CARDT	<i>Carduus tenuiflorus</i> Curtis																								
CENTS	<i>Centaurea solstitialis</i> L.																								
CENTM	<i>Centaurea melitensis</i> L.																								
CHAMM	<i>Chamaemelum mixtum</i> (L.) All.																								
CHONJ	<i>Chondrilla juncea</i> L.																								
CREPF	<i>Crepis foetida</i> L.																								
CREPV	<i>Crepis vesicaria</i> L.																								
CRUPV	<i>Crupina vulgaris</i> Pers. ex Cass.																								
FILAP	<i>Filago pyramidata</i> L.																								
LACTS	<i>Lactuca serriola</i> L.																								
LEONL	<i>Leontodon longirostris</i> (Finch & P. D, Sell) Talavera in Valdés & al.																								
PICNA	<i>Picnomon acarna</i> (L.) Cass.																								
RHAGS	<i>Rhagadiolus stellatus</i> (L.) Gaertner																								
SENEV	<i>Senecio vulgaris</i> L.																								
SONCO	<i>Sonchus oleraceus</i> L.																								
TARAE	<i>Taraxacum erythrospermum</i> Andr. ex Besser																								
TARAO	<i>Taraxacum obovatum</i> (Willd.) DC.																								
TRAGC	<i>Tragopogon crocifolius</i> L.																								
UROSP	<i>Urospermum picroides</i> (L.) Scop. ex F.W. Schmidt																								
BORAG	BORAGINACEA																								
ANCHU	<i>Anchusa undulata</i> L.																								
HELIE	<i>Heliotropium europaeum</i> L.																								
ECHIP	<i>Echium plantagineum</i> L.																								
LITHA	<i>Lithospermum arvense</i> L.																								
CARIO	CARIOFILACEA																								
ARENS	<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.																								
CERAG	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.																								
HERNC	<i>Herniaria cinerea</i> DC. in Lam. & DC.																								
HOLOU	<i>Holosteum umbellatum</i> L.																								
MINUH	<i>Minuartia hybrida</i> (Vill.) Schischkin in Komarov																								
SILEA	<i>Silene apetala</i> Willd.																								

CÓDIGO Familia Especie	MOMENTO MUESTREO:	ANTES 1 ^{er} CORTE																		ANTES 2 ^o CORTE					
	TRATAMIENTO:	VI						D						VS						VI		D		VS	
	AÑO DE MUESTREO:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	5	6	5	6	5	6
CARIO	CARIOFILACEA																								
SILEV	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke																								
SILEN	<i>Silene nocturna</i> L.																								
STELM	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.																								
CHENO	CHENOPODIACEA																								
CHENA	<i>Chenopodium album</i> L.																								
CONVO	CONVOLVULACEA																								
CONVA	<i>Convolvulus arvensis</i> L.																								
CRUCI	CRUCIFERA																								
ALYSS	<i>Alyssum simplex</i> Rudolphi																								
BISCA	<i>Biscutella auriculata</i> L.																								
CAPSB	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus																								
CLYPJ	<i>Clypeola jonthlaspi</i> L.																								
COROD	<i>Coronopus didymus</i> (L.) Sm.																								
DIPLV	<i>Diplotaxis virgata</i> (Cav.) DC.																								
DIPLE	<i>Diplotaxis eruroides</i> (L.) DC.																								
ERUCV	<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav.																								
HIRSI	<i>Hirschfeldia incana</i> (L.) Lagréze-Fossat																								
NESLP	<i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv.																								
SINAA	<i>Sinapis alba</i> L.																								
SISYC	<i>Sisymbrium crassifolium</i> Cav.																								
SISYI	<i>Sisymbrium irio</i> L.																								
SISYO	<i>Sisymbrium orientale</i> L.																								
THLAP	<i>Thlaspi perfoliatum</i> L.																								
ESCRO	ESCROFULARIACEA																								
BELLT	<i>Bellardia trixago</i> (L.) All.																								
LINAM	<i>Linaria micrantha</i> (Cav.) Hoffmanns. & Link																								
LINAA	<i>Linaria amethystea</i> (Vent.) Hoffmanns. & Link																								
PAREL	<i>Parentucellia latifolia</i> (L.) Caruel in Parl																								
VEROH	<i>Veronica hederifolia</i> L.																								
VERPE	<i>Veronica persica</i> Poir. in Lam.																								
VERPO	<i>Veronica polita</i> Fr.																								
EUFOR	EUFORBIACEA																								
CHAMN	<i>Chamaesyce nutans</i> (Lag.) Small																								
CHROT	<i>Chrozophora tinctoria</i> (L.) A.H.L Juss																								
EUPHH	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.																								
FUMAR	FUMARIACEA																								
FUMAD	<i>Fumaria densiflora</i> DC.																								
FUMAP	<i>Fumaria parviflora</i> Lam.																								
GERAN	GERANIACEA																								
ERODC	<i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. in Aiton																								
ERODM	<i>Erodium malacoides</i> (L.) L'Hér. in Aiton																								
GERAM	<i>Geranium molle</i> L.																								

CÓDIGO Familia Especie	MOMENTO MUESTREO:	ANTES 1 ^{er} CORTE																		ANTES 2 ^o CORTE					
	TRATAMIENTO:	VI						D						VS						VI		D		VS	
	AÑO DE MUESTREO:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	5	6	5	6	5	6
GRAMI	GRAMINEA																								
AVENS	<i>Avena sterilis</i> L.																								
BROMD	<i>Bromus diandrus</i> Roth																								
BROMH	<i>Bromus hordeaceus</i> L.																								
BROM	<i>Bromus matritensis</i> L.																								
BROMR	<i>Bromus rubens</i> L.																								
BROMT	<i>Bromus tectorum</i> L.																								
CYNOD	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.																								
HORDV	<i>Hordeum vulgare</i> L.																								
HORDM	<i>Hordeum murinum</i> L.																								
LOLIP	<i>Lolium perenne</i> L.																								
LOLIR	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin																								
POAAN	<i>Poa annua</i> L.																								
SECAC	<i>Secale cereale</i> L.																								
SETAR	<i>Setaria</i> sp. Beauv.																								
SORGH	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.																								
TRITA	<i>Triticum aestivum</i> L.																								
LAMIA	LAMIACEA																								
LAMIA	<i>Lamium amplexicaule</i> L.																								
LEGUM	LEGUMINOSA																								
ASTRH	<i>Astragalus hamosus</i> L.																								
ASTRS	<i>Astragalus stella</i> L.																								
COROS	<i>Coronilla scorpioides</i> (L.) W.D.J. Koch																								
HIPPC	<i>Hippocrepis ciliata</i> Willd.																								
LATHC	<i>Lathyrus cicera</i> L.																								
MEDIL	<i>Medicago littoralis</i> Rohde ex Loisel.																								
MEDIM	<i>Medicago minima</i> (L.) L.																								
MEDIO	<i>Medicago orbicularis</i> (L.) Bartal.																								
MEDIP	<i>Medicago polymorpha</i> L.																								
MEDIR	<i>Medicago rugosa</i> Desr. in Lam.																								
MEDIT	<i>Medicago truncatula</i> Gaertn.																								
MELIS	<i>Melilotus sulcatus</i> Desf.																								
ONONI	<i>Ononis</i> sp. L.																								
PSOLB	<i>Psoralea bituminosa</i> L.																								
SCORM	<i>Scorpiurus muricatus</i> L.																								
TRIFH	<i>Trifolium hirtum</i> All.																								
TRIFS	<i>Trifolium scabrum</i> L.																								
TRIFT	<i>Trifolium tomentosum</i> L.																								
TRIGM	<i>Trigonella monspeliaca</i> L.																								
VICIS	<i>Vicia sativa</i> L.																								
VICIP	<i>Vicia peregrina</i> L.																								
MALVA	MALVACEA																								
MALVN	<i>Malva nicaeensis</i> All.																								
PAPAV	PAPAVERACEA																								
PAPAR	<i>Papaver rhoeas</i> L.																								
PAPAD	<i>Papaver dubium</i> L.																								

CÓDIGO Familia Especie	MOMENTO MUESTREO:	ANTES 1 ^{er} CORTE																		ANTES 2º CORTE					
	TRATAMIENTO:	VI						D						VS						VI		D		VS	
	AÑO DE MUESTREO:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	5	6	5	6	5	6
PLANT	PLANTAGINACEA																								
PLANL	<i>Plantago lanceolata</i> L.																								
POLIG	POLYGONACEA																								
POLYA	<i>Polygonum aviculare</i> L.																								
RUMEP	<i>Rumex pulcher</i> L.																								
PRIMU	PRIMULACEA																								
ANAGA	<i>Anagallis arvensis</i> L.																								
ASTEL	<i>Asterolinon linum-stellatum</i> (L.) Duby in DC.																								
RESED	RESEDACEA																								
RESEU	<i>Reseda undata</i> L.																								
RUBIA	RUBIACEA																								
GALIT	<i>Galium tricornutum</i> Dandy																								
SOLAN	SOLANACEA																								
SOLAN	<i>Solanum nigrum</i> L.																								
URTIC	URTICACEA																								
URTIU	<i>Urtica urens</i> L.																								

ANEXO 1.B.

DIFERENCIAS ANUALES ENTRE TRATAMIENTOS PARA LOS INDICADORES DE COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA FLORÍSTICA, DE BIOTIPOS Y GRUPOS FUNCIONALES

Tabla 1. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición y estructura familiar antes del primer control de la cubierta

Tabla 2. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición y estructura familiar antes del segundo control de la cubierta

Tabla 3. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición y estructura específica antes del primer control de la cubierta

Tabla 4. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición y estructura específica antes del segundo control de la cubierta

Tabla 5. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición de biotipos antes del primer control de la cubierta

Tabla 6. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición de biotipos antes del segundo control de las cubiertas (junio)

Figuras 2003-2004; 2004-2005; 2005-2006; 2006-2007; 2007-2008; 2008-2009. Representación gráfica de la abundancia relativa individual y específica, y la frecuencia relativa para cada tratamiento ensayado antes del primer control (abril)

Tabla 7. Diferencias anuales entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipo (abril)

Tabla 8. Diferencias anuales entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipo antes del segundo control de la cubierta

Tabla 9. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición de grupos funcionales antes del primer control de la cubierta (abril)

Tabla 10. Diferencias anuales entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel de grupos funcionales antes del segundo control de la cubierta (abril)

ABREVIATURAS INCLUIDAS EN LAS TABLAS Y LOS GRÁFICOS

Las abreviaturas para familias y especies se corresponden con la codificación del Anexo 1.A

VI: Tratamiento con cubierta de veza y control con labor	T.C.: Terófito Cespitoso
D: Tratamiento con cubierta espontánea y control con labor	T.E.: Terófito Erecto
VS: Tratamiento con cubierta de veza y control con desbrozadora	T.RA.: Terófito Rastrero
AB _i : Abundancia relativa familiar individual (%)	T.RO.: Terófito Rosulado
FR: Frecuencia relativa (%)	T.TR.: Terófito Trepador
DE: Densidad o abundancia absoluta (individuos/m ²)	T/H.C.: Terófito/Hemicriptófito Cespitoso
AB _e : Abundancia relativa familiar específica (%)	T/H.E.: Terófito/Hemicriptófito Erecto
NºGE.: Número medio de géneros	T/H.RA.: Terófito/Hemicriptófito Rastrero
NºSP.: Número medio de especies	T/H.RO.: Terófito/Hemicriptófito Rosulado
	H/G.E.: Hemicriptófito/Geófito Erecto
	H/G.RA.: Hemicriptófito/geófito Rastrero
	H/G.RO: Hemicriptófito/geófito Rosulado
	G: Geófito

SOBRE EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Tratamiento estadístico de diferencias anuales entre tratamientos realizado con análisis ANOVA, diseño en bloques completamente aleatorios (DBCA). Separación de medias por el método de la menor diferencia significativa (LSD). Nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Los resultados de la comparación de medias aparecen seguidas de una o varias letras, cada letra señala a un grupo homogéneo de medias, de forma que medias seguidas por alguna letra común no difieren significativamente entre sí para el nivel alfa elegido.

Tabla 1. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición familiar individual antes del primer control de las cubiertas vegetales.

FAMILIA	PRIMER AÑO DE ENSAYO (2003-2004)																	
	VI						D						VS					
	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP
APIA	0,005	0,33	0,26	0,06	0,1	0,1	0,12	0,83	0,8	0,18	0,3	0,3	0,02	0,3	0,3	0,09	0,1	0,1
ASTER	14,4	24,7AB	40,1A	41,6A	6,4B	6,7B	9,5	19,5B	24,1B	11,3B	5,3B	5,3C	15,2	28,6A	34,1AB	36,7A	8,5A	8,5A
BORAG	0,27	2,17	5,8	0,55	0,57	0,57	0,33	1,85	3,8	0,38	0,57	0,57	0,34	1,93	5,8	0,62	0,57	0,57
CARIO	5,54B	7,53B	43,3	16,3	2 B	2 B	19,4A	12,1A	42,8	23,3	3,4A	3,4A	8,14B	10A	37,1	19,6	3AB	3AB
CONVO	0,61B	3,7	18,6B	1,74B	1	1	4,93A	3,54	59,1A	5,86A	1	1	1,03B	3,33	25,2B	2,52AB	1	1
CRUCI	3,02B	12,2	20,6B	8,79	3,25	3,25	11,8A	11,1	36,9A	14	3,1	3,1	3,85B	12,3	21,9B	9,32	3,5	3,6
ESCRO	0,07	0,27	1,38	0,22	0,2	0,2	0,04	0,24	0,52	0,09	0,17	0,17	0	0	0	0	0	0
FUMAR	0,06B	0,31	1,95B	0,14	0,1	0,1	1,18A	2,28	34,6A	1,32	0,57	0,57	0,1B	0,83	4,13B	0,16	0,1	0,1
GERAN	2,16	4,42	50,8	6,54	1,2	1,2	1,84	3,54	36,9	2,12	1	1	1,47	4	35,2	3,62	1,2	1,2
GRAMI	33,7	13,1AB	48,8	105A	2,3	3,4AB	27,7	9,76B	57,5	32,4B	2,15	2,5B	28,3	16,5A	40,6	73,5A	3,45	4,8A
LAMIA	0	0	0	0	0	0	1,56	3,54	17,2	1,39	1	1	0	0	0	0	0	0
LEGUM	33,7A	19,2	64,7A	102A	3,95	5	12,6B	16,6	34,2B	14 B	4,3	4,6	32A	15,2	66,6A	80,2A	3,6	4,5
LEGUSI	22 A	15,6	59,5A	68,1A	2,76	4	9,75B	13	34,2B	11,4B	3,25	3,6	21,2A	12,1	61,9A	53,1A	2,6	3,4
MALVA	0,01	0,2	1,04	0,09	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAPAV	2,87	3,7	64,6A	8,46A	1	1	2,01	1,85	31,3B	2,23B	0,57	1	4,27	4,12	72,9A	10,6A	1	1,4
POLIG	0	0	0	0	0	0	0,02	0,83	4,1	0,02	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
PRIMU	0	0	0	0	0	0	0,01	0,86	2	0,02	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
RESED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0,73	8,3	0,21	0,12	0,12
RUBIA	0,13	0,23B	0,32	0,18	0,1AB	0,12	0,48	1,42AB	2,83	0,57	0,57A	0,57	0	0	0	0	0	0

Tabla 1. (continuación)

SEGUNDO AÑO DE ENSAYO (2004-2005)																		
FAMILIA	VI						D						VS					
	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP
ASTER	11,8A	11	48	85,7A	3,7	3,7	3,98B	10	43,7	38,5B	3,5	3,5	15A	10,9	37,9	65,8A	3,6	3,6
BORAG	0,004	0,19	0,19	0,02	0,12	0,12	0,002	0,19	0,19	0,02	0,12	0,12	0,03	0,97	0,61	0,07	0,3	0,3
CARIO	28,6	7	54,5	213,4	2,4	2,4	45,2	8,63	48,3	290,5	3	3	24,5	8	39,5	130,2	2,7	2,7
CONVO	0,95	2,96	56,1B	6,83AB	1	1	1,19	2,87	83,3A	11,4A	1	1	1,38	2,98	56,8B	5,53B	1	1
CRUCI	19,3	16,8	40,9	140B	5,2	5,7	23,5	19,4	36,9	226A	5,7	7,2	15,8	17,7	36,4	66,2C	5,4	6
ESCRO	1,07	2,95B	43,5	7,4	1B	1B	1,18	2,87B	58,9	11,6	1B	1B	1,52	4,95A	40,1	6,12	1,7A	1,7A
EUFOR	0,02	0,53	0,8	0,13	0,3	0,3	0,02	0,54	0,71	0,16	0,3	0,3	0,02	0,19	0,24	0,04	0,12	0,12
FUMAR	0,26	5,92	16,1	1,89	1	2	0,66	5,75	14,9	1,54	1	2	0,42	5,96	14	1,69	1	2
GERAN	4,36A	2,96	98,6A	31,5A	1	1	2,24B	2,87	97,2A	21,4AB	1	1	3,74AB	8	81,9B	16,2B	1	1
GRAMI	8,11	14,8A	52,1	58,2	3	5A	3,78	12,2B	52,6	35,9	3	4,2B	11,7	14,9A	51,7	46,5	3	5A
LAMIA	1,36	2,96	70	9,89B	1	1	1,71	2,87	89,9	16,5A	1	1	2,25	2,98	66,3	9,45B	1	1
LEGUM	22,3A	19,6	45,9	162A	5,1	6,5AB	15,1B	20,8	36,3	146AB	5,7	7,2A	16,3B	18,4	40,7	76B	5	6B
LEGUSI	21,6A	16,7	45,9	157A	4,1	5,5	15B	17,9	41,3	147A	4,7	6,2	14,3B	16,4	37,5	76,3B	4,4	5,5
MALVA	0,01	0,52	2,31	0,13	0,3	0,3	0,03	0,54	5,15	0,29	0,3	0,3	0,09	0,52	4,83	0,23	0,3	0,3
PAPAV	0,28B	2,95	24,7	2,2	0,57	0,57	0,32B	1,58	31,5	3,09	1	1	0,77A	1,6	33,1	2,92	1	1
RUBIA	0,01	0,75	1,9	0,07	0,3	0,3	0,01	0,75	7,5	0,13	0,3	0,3	0,07	0,81	8,7	0,32	0,3	0,3
URTIC	0,001	0,1	1	0,01	0,12	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1. (continuación)

TERCER AÑO DE ENSAYO (2005-2006)																		
FAMILIA	VI						D						VS					
	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP
APIA	0,003	0,25	2	0,06	0,25	0,25	0,002	0,26	2	0,06	0,25	0,25	0,002	0,25	2	0,06	0,25	0,25
ASTER	12,3B	20,1B	45,1	91,3B	9,4	9,6	11,9B	21,6B	45,4	89,5B	10	10	26,1A	25,2A	48,4	207A	11	11,5
BORAG	0,02	0,44	0,87	0,18	0,3	0,3	0,05	0,46	0,91	0,25	0,3	0,3	0,01	0,17	0,26	0,06	0,12	0,12
CARIO	9,6	13,5	53	69 B	6,5	6,5	13,9	14,6	58,9	112A	6,7	6,7	8,13	13,1	57,4	63,6B	6	6
CONVO	0,32AB	2,07	34,3	2,43AB	1	1	0,71A	2,16	48,6	5,38A	1	1	0,11B	2,89	14,2	0,92B	0,57	0,57
CRUCI	8,56	11,9	53,6	63,3	5,5	5,7	8,88	10,7	49,9	67	5	5	9,8	9,73	49,5	75,3	4,3	4,3
ESCRO	1,06	2,09	49,9	7,42	1	1	0,34	2,17	38,9	2,52	1	1	0,67	2,19	55,8	5,24	1	1
EUFOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,47	0,04	0,23	0,5	0,5
FUMAR	0,16	1,38	18	1,15	1	1	0,19	1,6	13,8	1,16	0,57	0,57	0,08	1,58	10,1	0,5	0,57	0,57
GERAN	9,4	3,03	80 A	70,7	1,4	1,4	8,83	3,14	77,7AB	66,9	1,4	1,4	7,65	3,76	61,8B	59,9	1,7	1,7
GRAMI	30,6	16,1	54,3B	229	5,5A	7,7	30,7	13,8	75,4A	238	4B	6,25	25,5	15,9	56,4B	204	4,3B	7,2
LAMIA	0,69	2,09	41,8B	5,18	1	1	1,02	2,17	60,3AB	7,67	1	1	1,9	2,19	71,2A	14,7	1	1
LEGUM	24,4A	20,9A	60,1A	182	7,5A	9,9A	19,2AB	22 A	55,3AB	147	6,8AB	10A	15,9B	17,8B	49,8B	126	6,2B	7,9B
LEGUSI	19,2A	18,9A	57,7A	144A	6,4	8,9AB	19A	20,5A	58,4B	146A	6,3	9,4A	10,9B	15,8B	45,3A	86,1B	5,1	6,8B
MALVA	0	0	0	0	0	0	0,01	0,24	0,52	0,035	0,12	0,12	0,08	1,13	6,07	0,28	0,3	0,3
PAPAV	0,12B	0,94	10,1B	0,89B	0,57	0,57	0,56A	2,16	47,1A	4,37A	1	1	0,002B	0,18	0,52B	0,02B	0,12	0,12
RESED	0,01	0,24	4	0,16	0,12	0,12	0	0	0	0	0	0	0,009	0,26	6	0,14	0,12	0,12
RUBIA	0,24A	2,08	19,6A	1,76A	1	1	0,02B	0,46	2,08B	0,08B	0,3	0,3	0,08AB	1,02	8,95AB	0,49AB	0,57	0,57

Tabla 1. (continuación)

CUARTO AÑO DE ENSAYO (2006-2007)																		
FAMILIA	VI						D						VS					
	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	AB _e	FR	DE	NºGE	NºSP
ASTER	19,6	24,5AB	47,1	230B	12	13	19,2	22,1B	48,4	209B	11	11	26,73	27,7A	50,8	477A	13,5	14,7
BORAG	0,28	1,86	48,2	3,32	1	1	0,22	2,01	33,1	2,41	1	1	0,08	3,1	13,1	1,12	1,2	1,2
CARIO	16,1	12,2	53,5	193,6	5,8	6,3	16,5	13,9	47,4	185,5	6,2	6,8	10,6	11,7	53,3	195,6	5,2	6,2
CONVO	0,23AB	1,86	35,4	2,68AB	1	1	0,46A	2,01	47,9	5,02A	1	1	0,03B	2,54	20,8	0,66B	0,75	0,75
CRUCI	3,58AB	9,7	38,9B	42,3	5,1	5,1	5,37A	11	50,7A	59	5,4	5,4	3,15B	10,2	44,2AB	59	5,3	5,3
ESCRO	2,72A	5,65	59,5	32,1	2	3	2,16AB	5,53	60,8	23,8	2	2,7	1,17B	6,05	47,3	21,3	2,2	3,2
EUFOR	0	0	0	0	0	0	0,006	0,18	2	0,06	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0
FUMAR	0,06	1,5	22,2AB	0,55	0,57	1,3	0,05	1,48	18,1A	0,46	0,57	1	0	0	0	0	0	0
GERAN	7,74	3,2	72,1	90,4B	1,4	1,7	12,2	2,44	89,8	133AB	1,2	1,2	19,5	3,23	73,2	214A	1,7	1,7
GRAMI	19,2	11,7	58,9	219B	4,5	6,2	34,2	13,6	64,3	374AB	4,5	6,7	22,2	13	63,6	398A	4,4	7
LAMIA	1A	1,86	62,7	7,37	1	1	0,74AB	2,01	64,7	10,7	1	1	0,28B	2,4	36,7	20,2	1	1
LEGUM	26,2A	18,2	55,9A	302A	6,6	9,5	6,56C	18,7	44,3B	71C	5,7	9,1	11,9B	17,2	50,4AB	217B	6,2	9,1
LEGUSI	8,64	16,4	50,9	103	5,5	8,4	6,55	18,4	45,2	73,4	5,5	8,9	5,93	15,4	45,1	114	5,15	8,15
MALVA	0,04	0,47	1	0,31	0,3	0,3	0,01	0,17	0,3	0,09	0,12	0,12	0,03	0,44	1	0,33	0,3	0,3
PAPAV	0,12	1,88	24,6	1,43	1	1	0,09	1,16	14	1,1	0,57	0,57	0,01	1,07	6,07	0,24	0,57	0,57
POLIG	0,003	0,1	2	0,04	0,12	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRIMU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,8	4	0,04	0,25	0,25
RESED	0	0	0	0	0	0	0,002	0,16	4	0,06	0,12	0,12	0,002	0,16	6	0,09	0,12	0,12
RUBIA	0,17	1,3	47,4A	1,93A	1	1	0,04	1,42	7,63B	0,34B	0,57	0,57	1,26	1,31	45,3A	3,65A	1	1
UMBEL	0,01	0,53	10,2	0,2	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0,01	0,81	6	0,45	0,12	0,12

Tabla 1. (continuación)

QUINTO AÑO DE ENSAYO (2007-2008)																		
FAMILIA	VI						D						VS					
	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP
APIA	0	0	0	0	0	0	0,02	0,63	0,95	0,16	0,3	0,3	0,003	0,23	0,26	0,02	0,12	0,12
ASTER	20,4AB	24B	41,1	193,2	9,6	11,2B	15,5B	25,3AB	36,8	145,8	10,2	11,4B	23A	29,9A	38,6	174	12,7	15A
BORAG	0,04	2,13	8,33	0,4	1	1	0,03	0,47	0,95	0,21	0,3	0,3	0,04	0,45	0,91	0,21	0,3	0,3
CARIO	5,25	6,75B	32,7	52,3	2,8B	3B	2,87	7,63B	29,4	27,6	3,4AB	3,4B	5,41	9,82A	31,1	45,4	4,7A	5A
CONVO	0,14	2,13	22,6	1,37	1	1	0,18	2,2	23,3	1,51	1	1	0,05	3,8	5,15	0,36	0,3	0,3
CRUCI	7,9B	10,6	63,1A	69,6B	4,9	5	16,0A	12,1	62,3A	133A	5,2	5,4	3,15B	9,83	31,5B	22,3B	4,9	5
ESCRO	1,04B	4,15	48,6	9,88AB	1,2B	1,8	0,83B	3,79	40,6	7,25B	1,4AB	1,7	2,36A	4,88	47,8	18,5A	2A	2,4
EUFOR	0	0	0	0	0	0	0,005	0,18	2,08	0,06	0,12	0,12	0	0	0	0	0	0
FUMAR	0,15	1,34	15,6	0,87	0,57	1,5A	0,01	0,17	1,12	0,06	0,12	1 B	0,02	0,45	2,88	0,13	0,3	1B
GERAN	13,7	3,66	68	128	1,5	1,7	13,9	2,21	100	123	1,25	1	14,8	2,87	74,8	111	1,7	1,4
GRAMI	28,9	14,3	56,4	272	4,7	6,6	37	13,8	67,5	348,4	4,2	6,2	31	12,3	56,4	248	4,2	6,2
LAMIA	1,81	2,14A	79,1	10	1	1	1,01	2,21A	68,1	11,4	1	1	1,63	1,97B	70,6	12,9	1	1
LEGUM	15,8A	23,4	50,1	145A	6,8	10,9	8,31B	21,7	44,5	72,7B	6,74	9,6	13,8A	19,6	41,5	97,9B	6,42	9,9
LEGUSI	8,68	21,4A	45,4	80,6	5,8	9,9	8,26	20,8A	46,3	73,1	6,53	9,2	11,4	17,6B	38,5	88,8	5,67	8,8
MALVA	0,15	1,01	16,3	0,96	0,57	0,57	0,11	2,21	22,4	0,94	1	1	0,09	0,44	6,07	0,35	0,3	0,3
PAPAV	0,02	0,46	3,03	0,57	0,3	0,3	0,03	0,48	3,03	0,23	0,3	0,3	0,01	0,17	0,52	0,09	0,12	0,12
PLANT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,16	2,08	0,02	0,12	0,12
POLIG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,75	2,08	0,02	0,12	0,12
RESED	0	0	0	0	0	0	0,007	1,16	4,16	0,13	0,3	0,3	0,001	0,24	2,08	0,06	0,12	0,12
RUBIA	0,009	0,17	0,26B	0,06	0,12	0,12	0,01	0,18	0,26B	0,09	0,12	0,12	0,22	1,97	13A	1,13	1	1

Tabla 1. (continuación)

SEXTO AÑO DE ENSAYO (2008-2009)																		
	VI						D						VS					
FAMILIA	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	AB _i	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP
APIA	0	0	0	0	0	0	0,017	0,96	2,77	0,27	0,51	0,51	0,009	0,57	0,87	0,13	0,3	0,3
ASTER	14,6B	20,2B	45,6B	209B	9,9B	10,7	21,9A	24,2AB	49,5B	372A	11AB	12,3	21,7A	28,6A	61,6A	237AB	13,1	15,4A
BORAG	0,08	1,89A	25	0,7	1	1	0,07	1,95A	25,9	0,31	1	1	0,09	1,34B	11,1	1,71	0,3	0,3
CARIO	9,95AB	10,6	43,2B	149	5,3	5,5	7,53B	10,8	51,3B	127	4,8	5,4	16,4A	10,6	63,7A	185	5,5	5,7
CONVO	0,07	1,89A	21,4	0,79	1B	1	0,04	0,97AB	10,5	0,48	0,5AB	0,9	0,005	0,11B	1,38	0,09	0,12A	1
CRUCI	20,3A	12,6	51,8	284B	5,8	6,6	25,8A	10,2	74,3	418A	4,8	5	6,47B	10,7	52,3	69,1C	5,2	5,4
ESCRO	2,02AB	7,05A	42,6B	28,2	2	3,7A	1,18AB	5,7B	60,6	19,8	2	2,9B	3,86A	6,46AB	54,5	41,8	2	3,5AB
EUFOR	0	0	0	0	0	0	0,007	0,32	3,7	0,09	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
FUMAR	0,08	0,44	10,7	0,47	0,3	0,5	1,8	0,82	14,8	0,54	0,5	0,5	0,009	0,16	1,41	0,06	0,12	0,3
GERAN	10,2	4,2	57,6B	141	2	2,2	11,4	3,01	86,2A	184,8	1,27	1,5	10,3	2,7	85,5A	208	1,4	1,4
GRAMI	18,3	14	57,2B	250A	4,1	7,4	16,5	13,7	70,8A	264A	4,6	7	9,58	12,4	68,7AB	101B	4,7	6,7
LAMIA	0,99B	1,89	80,2	14,2B	1	1	0,62B	1,95	88,7	10,4B	1	1	3,05A	1,85	94,3	32,6A	1	1
LEGUM	19,1A	20,5	53,4	267A	7,6	10,5	5,96B	18,1	54,2	96,8C	6,6	9,24	15,6A	19,3	50,7	168B	6,5	10,4
LEGUSI	7,61AB	18,8	48,8	124	6,6	9,5	5,94B	17,5	55,8	97	6,2	8,8	14,5A	17,5	49,8	159	5,7	9,4
MALVA	0,1	1,09	22,1	0,76	0,57	0,57	0,11	1,95	24,9	1,11	1	1	0,13	0,47	12,4	0,51	0,3	0,3
PAPAV	0	0	0	0	0	0	0,05A	1,95AB	22,2A	0,88A	1A	1	0,01B	0,43B	2,77B	0,11B	0,3AB	0,3
POLIG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003	0,24	2,77	0,02	0,12	0,12
RESED	0,002AB	0,23AB	2B	0,06B	0,12AB	0,12	0,03A	0,96B	8,3AB	0,43A	0,51A	0,51	0	0	0	0	0	0
RUBIA	0,02 B	0,43B	0,94AB	0,18AB	0,3AB	0,3	0	0	0	0	0	0	0,08A	1,85AB	19,9B	0,62A	1A	1

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. AB (%): Abundancia relativa familiar individual (ABi) y específica (ABe); FR (%): frecuencia relativa familiar; DE: Abundancia absoluta familiar individual (individuos/m²); NºGE: Número de géneros; NºSP: Número de especies. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 2. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición familiar individual antes del segundo control de las cubiertas vegetales.

QUINTO AÑO DE ENSAYO (2007-2008)																		
FAMILIA	VI						D						VS					
	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP	ABi	ABe	FR	DE	NºGE	NºSP
AMARA	25,5	4,28	70,3	25,5	1	1	31,0	3,69	79	34,1	1	1	0	0	0	0	0	0
ASTER	10,9B	26,3B	20,8B	8,68B	6B	6B	10,2B	26,5B	23,7AB	11,9B	6,5B	7,2B	37,3A	39,2A	34,1A	99,4A	11A	12,2A
BORAG	10,5	5,28	16,1A	11,2A	1,2A	1,2A	4,68B	3,69	6,55B	5,14A	1A	1A	0,00C	0,75	0,52C	0,07B	0,2B	0,2B
CARIO	0,58	0,83B	0,15B	0,19B	0,2B	0,2B	5,38	0,86B	0,15B	0,07B	0,2B	0,2B	21,9	4,73A	11,1A	2,44A	1,4A	1,4A
CHENO	1,51	4,28	21,7	1,61A	1	1	0,71	2,69	6,36	0,94AB	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0
CONVO	1,92	4,28A	30,8	2,01	0,4	0,4	1,35	3,69AB	30,32	1,53	0,7	0,7	0,22	2,38B	6,07	0,4	0,2	0,2
CRUCI	16,6	12,7A	46,5A	11,1A	2,9	2,9	15A	11A	40A	11,54A	3	3	0,44B	6,12B	11,8B	0,2B	1,7	1,8
EUFOR	1,85	4,9A	10,8A	3,08	1A	1A	0,81AB	1,8B	11,2A	2,58	0,7AB	0,7AB	<0,01B	0,75B	1,2B	0,08	0,2B	0,2B
GERAN	6,71	5,11	68,8	6,96	1	1,2	5,69	5,52	55,36	7,06	1	1,4	4,13	3,97	66,2	6,8	1	1
GRAMI	11B	15,8	30,2B	10,7B	3,7	3,7B	12,5B	14,7	34,4B	13,8B	4	4B	38A	16,8	54,0A	101A	4	5,2A
LAMIA	1,38A	3,14	33,3A	0,27A	0,7	0,7	0,43AB	2,7	12,5AB	0,03AB	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0
LEGUM	1,82B	9,75C	12,7B	1,6 B	1,9B	2,2B	4,17B	17,4B	15,9B	5,15B	3,3AB	4,6A	17A	28A	37,1A	45,2A	5,2A	8,6A
MALVA	0	0	0	0	0	0	0,1	1,86	2,08	0,15	0,4	0,4	0,08	1,61	3,03	0,37	0,4	0,4
SOLAN	0,34	3,14	5,78A	0,5	0,7A	0,7A	0,53	0,83	2,54AB	0,57	0,4AB	0,4AB	0	0	0	0	0	0
SEXTO AÑO DE ENSAYO (2008-2009)																		
ASTER	15,5B	25,8	11,7B	1,98B	2,7B	2,7B	29,2AB	32,7	13,1AB	3,2 B	3,7 B	3,7 B	46,7A	35,9	28,6A	101A	12A	13,2A
CARIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,71	5,3	10,5	2,33	1,8	1,8
CONVO	16,3A	8,88A	34,16	2,22	1	1	18,4A	8,63A	27,3	1,95	1	1	0,66B	2,7B	19,7	1,31	0,5	0,4
CRUCI	0,31	1,92	1,12	0,08B	0,2 B	0,2B	0,75	2,56	1,9	0,22AB	0,2B	0,2B	0,45	4,96	6,64	1,16A	1,4A	1,4A
GERAN	5,71	9,83A	8,33B	0,78B	1A	1B	0,64	2,56B	61,4B	0,11B	0,2B	0,2C	3,62	4,84AB	39,6A	6,3A	0,7A	1,7A
GRAMI	45,1A	29,2	16,4B	5,54B	3,1B	3,1B	39,1A	31,6	12,7B	4,2B	3,2B	3,7B	18,3B	20,1	37,0A	39A	5A	7,4A
LEGUM	6,56B	22,6	5,5 B	1,4 B	1,5B	1,9	9,3AB	17,9	8,33B	1,04B	1,7B	2,5B	22,6A	23,6	36,1A	45A	5,4A	8,6A
MALVA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	2,12	10,14	0,76	0,7	0,7

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. AB (%): Abundancia relativa familiar individual (ABi) y específica (ABe); FR (%): frecuencia relativa familiar; DE: Abundancia absoluta familiar individual (individuos/m²); NºGE: Número de géneros; NºSP: Número de especies. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 3. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición específica antes del primer control de las cubiertas vegetales.

ESPECIE	ABUNDANCIA RELATIVA INDIVIDUAL (%)																	
	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
ALYS	1,72	2,23	1,01	4,03	1,91	3,42	3,97	3,89	4,79	2,3	2,37	1,8	0,92	1,41	0,62	0,8	1,22	0,72
ANDRI	1,45AB	0,44B	1,9A	0	0	0	0,31B	0,22B	0,89A	0,2	0,52	0,69	0,17	0,27	0,29	0,14B	0,35AB	0,69A
ANTHA	7,15A	2,59B	7,08A	0,35	0,38	0,14	1,28	0,73	0,97	0,92B	0,38C	1,66A	0,11B	0,15AB	0,67A	0,12B	0,24B	1,07A
ARENS	0,7B	1,47AB	3,51A	0	0	0	1,16	0,78	1,23	0,6	0,42	0,14	0	0	0,16	0,12	0,06	0,08
AVENS	0,2	0,59	1,06	3,14	1,45	2,68	0,3	0,2	0,4	0,75	0,61	1,04	0,99	0,85	1,52	0,12C	0,45B	0,81A
BROMD	25,3	11,5	13,1	2,64	1,31	4,12	10,7	11,4	7,48	8,02	16,2	8,92	6,94	10,3	8,77	4,28A	5,29A	1,2B
BROMM	0,16	0,09	0,35	0,67B	0,15B	1,78A	7,58	5,62	6,74	2,33	4,15	4,79	1,29	6,11	7,72	1,11B	2,86A	1,69AB
CALEA	0,08	0,08	0,18	0,12B	0,36A	1,1B	0,72A	0,17B	0,43AB	0,98B	0,77AB	0,47A	13,4A	8,17B	4,09C	10,5A	14,7A	3,75B
CAPSB	0,94B	8,51A	1,99B	13,9B	20,9A	8,22C	1,54	3,09	1,61	0,76AB	1,26A	0,48B	2,79A	3,26A	1,23B	3,94	3,54	3,34
CENTS	2,11	2,14	3,15	0	0	0	4,21B	2,56B	12,5A	6,77B	6,93AB	12,6A	2,33AB	2,21B	3,68A	0,78B	0,87B	2,07A
CONVA	0,63B	4,96A	1,1B	0,98	1,19	1,41	0,32B	0,72A	0,16B	0,24AB	0,47A	0,05B	0,16	0,19	0,1	0,08	0,07	0,02
COROS	1,87	1,47	2,43	0	0	0	0,54	0,8	0,43	0,28	0,18	0,48	0,09	0,11	0,22	0,06B	0,08B	0,3A
CREPV	0,02	0,43	0,26	0	0	0	0,23	0,28	0,24	0,48AB	0,1A	1,43B	0,11A	0,09A	3,78B	0,15B	0,1B	3,57A
DIPLV	0	0,18	0,14	0,53	0,21	0,29	1,73A	0,51B	0,25B	0,18B	0,91A	0,18B	3,13B	7,88A	0,48C	14,2B	21,4A	1,3C
ERODC	2,14	1,85	1,46	4,36A	2,25B	3,75AB	9,22	8,81	7,62	7,44	12,2	12,8	13,5	13,9	14,7	10,1B	12,2B	19,2A
HOLOU	0,21	0	0	1,63	1,68	1,64	0,97	3,37	1,27	1,56	1,72	0,99	0,05B	0,06B	0,87A	0,23	0,29	1,5
HORDM	0,34B	7,43A	1,94AB	1,13	0,85	1,77	8,1	8,05	7,84	7,25	10	4,9	16,7	15,5	8,5	8,94	6,65	3,6
LACTS	0,48	0,14	0,02	0	0	0	0,55B	0,32B	1,49A	0,75	1,19	0,26	0,39	0,49	0,19	0,09	0,52	0,44
LAMIA	0	0,67	0	1,37	1,71	2,26	0,73	1,08	1,94	1,01A	1,27AB	0,39B	1,86	1,03	1,64	0,97B	0,65B	2,7A
LOLIR	0,27	0,38	0,29	0	0	0	1,05B	3,15A	2,72A	0,36	0,23	0,48	0,37A	1,56B	0,4A	0,05B	0,51A	0,48A
MEDIM	13,6A	6,65B	16,1A	15,5A	10,8B	11,4AB	9,18AB	10,7A	6,92B	4,48	3,99	3,17	4,86	4,32	5,95	2,81B	3,64B	7,24A
MEDIP	3,97A	0,34B	1,57AB	4,92A	3,24B	2,18C	2,9	0,79	2,8	1,17	0,86	1,61	0,9A	0,81A	3,03B	0,53B	0,66B	3,28A
MINUH	0	0	0	0	0	0	2,48B	3,37A	2,57B	1,53	2,13	1,86	0	0	0,05	0,34B	0,36AB	0,8A
PAPAR	2,89	2,38	4,21	0,36B	0,37B	0,83A	0,16B	0,57A	0,009B	0,1	0,13	0,01	0,02	0,03	0,01	0	0,06A	0,02B
SENEV	0,04B	1,28A	0,41AB	9,74A	3,52B	13,2A	2,12	5,66	4,58	4,73	4,86	3,24	0,86	1,08	0,91	1,14	1,35	1,74
SONCO	0,29	0,64	0,61	0,07	0,03	0,22	0,47	0,67	0,79	0,74	0,58	0,42	0,78	0,54	0,43	0,87	1,16	0,88
STELM	3,54AB	14,1A	2,89B	26,7	42,8	21,9	3,53AB	4,72A	1,78B	10,4A	10,1A	4,4B	5,13A	2,71AB	1,43B	8,02	6,19	4,3
TRIFS	0,25	0	0,14	0,84	0,54	0,33	2,14A	0,71B	0,3B	1,3	0,65	0,33	0,9	0,9	0,97	0,4A	0,63B	0,89B
VEROH	0,1	0,08	0	0	0	0	0,01	0,09	0,2	0,48	0,16	0,16	0,16A	0,05B	0,13AB	0,31B	0,39B	1,42A
VEROP	0	0	0	0	0	0	0,73	0,19	0,29	1,6A	1,34A	0,43B	0,84B	0,69B	1,94A	1,39	0,17	0,56
VICIS	11A	2,86B	10,8A	0,72B	0,04C	1,68A	4,95A	0,24B	4,87A	17,3A	0,007C	5,6B	7,04A	0,04C	2,38B	13,7A	0,01C	0,89B

Tabla 3. (continuación)

ESPECIE	FRECUENCIA RELATIVA (%)																	
	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
ALYSS	37,5	31,25	25	77,7	73,6	55,5	100	77	77	85,4	85,4	77	70,8AB	83,3A	45,8B	69,4	96,2	63,8
ANDRI	45,8A	8,33B	54,1A	0	0	0	31,2	27	60,4	22,9B	41,6AB	64,5A	27	25	27	30,5	51,8	58,3
ANTHA	72,9A	33,3B	70,8A	36,1	36,8	11,1	56,2	54,1	43,7	62,5	47,9	64,5	17,9	13,9	25,3	36,1B	33,3B	72,2A
ARENS	16,6B	24,9AB	50A	0	0	0	66,6	52	72,9	41,6A	33,3AB	12,5B	0	0	2,08	22	74	17
AVENS	0,29	0,26	3,2	94,4	85,4	83,3	27	27	35,4	13,1	10	12	31,2	27	25	25B	66,6A	72,2A
BROMD	89,5	60,4	64,5	59,7	54,8	62,5	97,9	100	93	100	100	97,5	95,4	97,7	92,6	100A	100A	77,2B
BROMM	0,95	0,29	0,99	34AB	33,3B	48,6A	87,5	93,7	81,2	97,9	93,7	100	75	91,6	89,5	72,2B	100A	88,8AB
CALEA	4,13	1,95	3,43	10,4AB	2,5B	60A	20,5	54	8,3	72,9A	54,1AB	43,7B	100	76,6	79,2	100	96,3	63,8
CAPSB	22,9B	70,8A	33,3B	95,8	97,2	88,8	64,5	72,9	64,5	45,8B	66,6A	64,5A	77A	81,2A	52B	94,4	96,2	91,6
CENTS	37,5	31,2	60,4	0	0	0	91,6	100	100	100	95,8	97,9	93,7	87,5	89,5	61,1B	74AB	97,2A
CONVA	18,7B	60,4A	27B	56,9B	83,3A	57,6B	35,4	49,9	20,8	35,4	47,9	20,8	25	25	10,4	20AB	71A	7B
COROS	52	25	52	0	0	0	45,8	64,5	41,6	61,6	65,2	51	70	74,5	19	19,4	25,9	36,1
CREPV	1,12	4,04	8,05	0	0	0	42	26,4	10,8	45,8AB	12,5B	70,8A	14,5B	12,5B	83,3A	30,5B	29,6B	97,2A
DIPLV	0	0,8	0,29	33,3	29,1	25,6	64,5	37,5	25	27B	66,6A	10,4B	87,5A	97,9A	14,5B	100A	100A	59B
ERODC	49,9	35,4	42,3	98,6A	97,2A	81,9B	95,8	100	93,7	93,7	100	100	97,9	100	97,9	97,9	100	97,9
HOLOU	0	0	1,23	29,8	40,2	15,9	47,9	85,4	66,6	33,3	52	54,1	55,4	70	30,5	24,9	48,1	72,2
HORDM	8,33B	56,2A	39,5A	47,2	62,5	38,1	91,6AB	97,9A	77B	89,5	97,9	91,6	93,7AB	97,9A	87,5B	97,2	100	97,2
LACTS	1,08	0,29	0,26	0	0	0	58,3	54,1	58,3	62,5	56,2	25	47,9	43,7	27	19,4B	48,1AB	66,6A
LAMIA	0	10,8	0	70,8	90,2	66,6	43,7B	62,5AB	72,9A	64,5	66,6	50	81,2	68,7	81,2	80,5	88,8	94,4
LOLIR	22,9	27	25	0	0	0	56,2B	89,5A	77AB	27	52	50	37,5B	85,4A	39,5B	16,6B	52A	47,2A
MEDIM	95,8A	81,2B	100A	94,4A	100A	78,4B	98,9	99,2	99,6	93,7	100	97,9	97,9AB	100A	91,6B	100	97,1	100
MEDIP	60,4A	2B	35,4A	73,6	68	72,2	89,5B	95,8A	93,7AB	93,7	79,1	91,6	68,7	74,5	77	75	81,4	91,6
MINUH	0	0	0	0	0	0	70,8	79,1	70,8	70,8	70,8	72,9	0	0	10,4	47,2	44,4	58,3
PAPAR	64,5A	31,2B	72,9A	33,3	36,8	35,4	14,5B	43,7A	2B	14,9	15,2	6,7	4,04	4,04	1,12	0	22,2A	3,73B
SENEV	2,88	21,6	12,3	99,3	100	94,4	11,7	8,6	16	75	77	72,9	32,6	37,4	29,1	75	85,1	88,8
SONCO	91	14	10,8	9,72	7,64	7,63	41,6	60,4	54,1	75	58,3	62,5	75A	45,8B	41,6B	86,1	88,8	66,6
STELM	47,9	83,3	47,9	98,6	97,9	81,2	95,8	91,6	83,3	100	91,6	93,7	85,4	77	66,6	97,2	92,5	91,6
TRIFS	1,08	0	0,33	56,2A	40,9AB	16,6B	77A	52AB	31,2B	64,5	58,3	47,9	64,5	54,1	58,3	76,6	74	75
VEROH	0,31	0,26	0	0	0	0	2,4	11,6	12,9	39,5	27	37,5	29,1A	6,25B	14,5AB	44,4	51,8	72,2
VEROP	0	0	0	0	0	0	54,1	22,9	31,2	83,3	75	47,9	64,5AB	52B	81,2A	69,4	70,3	33,3
VICIS	89,5A	35,4B	89,5A	50A	6,25B	56,2A	85,4A	16,6B	75A	97,9A	2B	93,7A	100A	4,17C	79,1B	100A	7,41C	61,1B

Tabla 3. (continuación) VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada.

ESPECIE	DENSIDAD ABSOLUTA (individuos/m ²)																	
	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
ALYSS	4,65	2,36	1,62	26,8	18,1	15	28,9	28,8	34,5	26,9	24,7	32,8	8,27AB	12,2A	4,2B	11,4	18,1	6,87
ANDRI	4,45A	0,27B	4,64A	0	0	0	1,92AB	1,29B	7,08A	1,66	4,52	10,2	1,05	2	1,43	1,67B	5,32AB	7,34A
ANTHA	20,4A	2,99B	15,4A	2,48AB	3,71A	0,45B	8,79	4,5	6,6	8,54B	3,13C	27,8A	0,71	0,77	3,7	1,64B	2,61B	11,4A
ARENS	0,98B	1,7B	10,1A	0	0	0	7,9	5,38	9,74	6,39	3,77	1,41	0	0	0,25	1,28	0,73	0,43
AVENS	0,19	0,09	1,13	22,8	13,8	13,7	1,67	0,86	1,13	7,58	5,51	13,1	7,11	6,91	11,3	1B	6,89A	9,77A
BROMD	78,7A	12,5B	32,8AB	18,3	12,1	16,8	78,2	87,6	59,6	85,7	177,1	156,7	64,9	92,5	65,6	59,2A	78,1A	11,9B
BROMM	0,34	0,09	0,47	4,59A	1,37B	7,26A	55,9	44	52,3	26,7B	44,6B	87,3A	10,5	48,8	51,1	14B	33,2A	18,1AB
CALEA	0,39	0,15	0,94	1,65	0,37	1,13	7,51A	1,23B	3,87AB	21,9	14	13,2	128,3A	73,5B	22,8C	151A	282,9A	38,5B
CAPSB	2,14B	10,2A	4,85AB	102,3B	201,7A	35,5C	11,1	21,6	12,4	8,73	13,7	7,82	25,3A	28,8A	8,73B	57,4	55,6	34,5
CENTS	3,9	2,3	7,8	0	0	0	32B	19,6B	99,3A	78,2B	76B	227,3A	21,4	20,5	29,3	9,88	13,5	22,4
CONVA	1,74B	5,86A	2,52AB	6,83AB	11,4A	5,53B	2,43AB	5,38A	0,92B	2,68AB	5,02A	0,66B	1,37	1,51	0,36	1,04	0,6	0,11
COROS	5,16	1,71	5,61	0	0	0	3,98	5,93	3,15	2,41B	1,47B	8,91A	0,55	0,57	1,29	0,81B	1,15AB	3,24A
CREPV	0,06	0,35	0,4	0	0	0	0,6	1,18	1,19	5,8B	0,85B	28,8A	0,63B	0,61B	22,5A	1,93A	1,49A	36,5B
DIPLV	0	0,18	0,14	1,72	1,41	0,68	12,5	3,77	8,69	2,04	9,8	1,88	25,8A	82,5A	1,04B	192,2B	319,2A	13,24C
ERODC	6,39	2,12	3,42	31,5A	21,4AB	16,2B	69,4	65,6	58,5	83,2A	128AB	277,2B	126,8	123	110,7	139,2	183,9	206,4
HOLOU	0,21	1	1	11,1	15,4	6,64	6,16	24,4	9,79	16,7	18,7	16,4	0,29B	0,46B	4,48A	3,98	5,04	29,1
HORDM	0,96	8,9	4,9	7,98	7,61	6,4	62,2	58,5	38,7	80,7	109,5	86,1	158,9A	151,5A	67,4B	125,1	97,7	38,3
LACTS	0,57	0,09	0,06	0	0	0	3,74B	2,05B	11,7A	8,86	12,3	3,48	3,71	4,94	1,35	0,95B	7,99A	4,9AB
LAMIA	0	1,18	0	9,89B	16,5A	9,45B	5,18	7,67	15	11,9	8,45	5,56	17,7	9,18	12,3	14,2B	10,4B	32,6A
LOLIR	0,31	0,41	0,31	0	0	0	7,9B	23,5A	21,5A	3,78B	14,2A	8,66AB	2,88A	12,3B	2,96A	0,47B	7,73A	5,16AB
MEDIM	41,1A	7,72B	40,1A	113,4A	106 AB	61,97B	67,1AB	81,9A	54,3B	50,7	42,8	58,9	44,6	37	45,5	38,7B	56,4AB	77,5A
MEDIP	11,7A	0,14B	3,41AB	35,7A	31,7A	11,7B	22,4	81,9	22,2	13,2B	9,4B	29,8A	8,66B	7,78B	25,2A	7,29B	9,61B	35,2A
MINUH	0	0	0	0	0	0	17,6B	25,8A	19AB	17,6	21,9	34,8	0	0	0,41	4,52	4,04	8,42
PAPAR	8,46A	2,23B	10,4 A	2,2	3,09	2,92	0,89B	4,37A	0,02B	0,74	0,93	0,27	0,18	0,23	0,09	0	0,88	0,11
SENEV	0,13	1,07	0,53	71,5A	34B	57,8AB	13,6	40,5	32,8	55,3	54,2	55,5	6,17	8,75	5,81	15,9	21,4	18,2
SONCO	0,72	0,37	0,94	0,4	0,23	0,33	3,36	5,12	5,41	8,31	6,12	7,09	6,58	4,26	2,87	11	17,5	8,92
STELM	9,6	17,3	6,88	200AB	416,5A	116,6B	24,9AB	36,1A	14B	124	113,2	80	50,8A	25,4AB	10,5B	118,5	96,2	46,4
TRIFS	0,52	0	0,23	5,92A	5,02A	1,37B	16A	5B	2B	14,5	5,24	5,9	7,94	7,02	6,8	5,83	10,3	10,2
VEROH	0,16	0,06	0	0	0	0	0,06	0,38	0,59	6,42A	1,45B	2,93AB	1,31A	0,12B	0,56AB	3,86	5,2	22,8
VEROP	0	0	0	0	0	0	7,7	1,5	2,71	18,9	14,8	5,79	7,92AB	5,9B	15,3A	18,6A	9,53AB	3,76B
VICIS	31,8A	3,2B	25,2A	5,1A	0,38B	7,36A	37,5A	1,24B	38,5A	200A	0,02C	100B	63,8A	0,16C	17,4B	192,9A	0,25C	9,67B

Tabla 4. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición específica antes del segundo control de la cubierta.

ESPECIE	QUINTO AÑO DE ENSAYO (2007-2008) ANTES DEL 2º CORTE (JUNIO)									SEXTO AÑO DE ENSAYO (2008-2009) ANTES DEL 2º CORTE (JUNIO)								
	VI			D			VS			VI			D			VS		
	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE
AMARANTÁCEAS																		
AMARA	21,6	71,6	24,5	22,8	79,1	34,7	0	0	0									
ASTERÁCEAS																		
ANTHE	0,46B	12,1B	0,48B	0,18B	3,03B	0,2B	5,13A	43,3A	13,9A	0,27	0,56B	0,22B	0,9	3,88B	0,4B	2,7	63,7A	6,06A
CALEN	0,46	8,95	0,48	0,65	13,8	0,82	0,6	20,25	1,58	0,55	2,08B	<0,01B	0	0	0	1,03	30,7A	0,72A
CENTM	0	0	0	0,08	2,08	0,08	0,34	11,24	0,75	0	0	0	0	0	0	0,2	3,64	1,33
CENTS	6,8AB	52,5AB	5,43B	2,88B	42,7B	3,34B	8,21A	83,2A	22,1A	2,91B	3,03B	0,27B	8,52A	9,34B	1,06B	11,4A	95,7A	24,8A
CREPF	0	0	0	0,04AB	0,52AB	0,04AB	0,22A	7,63A	0,45A	0	0	0	0	0	0	0,96	20,6	8,14
CREPV	1,21B	3,88B	0,25B	0,25B	3,03B	0,36B	15,7A	95,7A	43,1A	0,17B	0,52B	0,12B	0,6AB	1,56B	0,37B	4A	55,3A	8,53A
LACTU	0,5A	3,88	0,37	1,18A	29,6	1,96	0,08B	14,3	0,57	2,2A	0,52B	0,07B	1,68A	0,52B	0,1B	0,24B	30,2A	1,54A
LEONT	0	0	0	0	0	0	0,55	20,6	1,51	0	0	0	0	0	0	1,87	38,6	4,16
SONCH	1,07	23	1,24	0,42	8,58	0,54	0,66	26	1,8	5,26	12,1B	0,83AB	1,64	2,08B	0,3B	1,06	36,1A	2,28A
UROSP	0,25	2,08	0,3	0,32	7,63	0,44	0,5	21,3	1,24	0	0	0	0	0	0	0,62	24,2	1
BORAGINÁCEAS																		
CHAMN	1,2A	27,9A	2,43A	1,1A	23,3A	2,2A	0,02B	0,52B	0,08B									
HELIO	10,2A	60,3	10,8	6,37B	62,1	7,9	0	0	0									
CHENOPODIÁCEAS																		
CHENO	1,46A	23,3	1,66A	0,63AB	11,7	1,25AB	0	0	0									
CONVOLVULÁCEAS																		
CONVO	1,6B	30,8	0,54	1,1AB	30,32	0,35	0,2A	6,07	0,03	14,2A	34,1	0,64	17,9A	15,2	0,52	0,6B	19,6	0,27
CRUCÍFERAS																		
CAPSE	5,62A	44,43	2,8	1,7B	23,6	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	2,08	<0,01
DIPLO	10,2A	54,6A	4,6A	11,3A	42,1A	4,4A	0,67B	3,03B	0,32B									
HIRSC	0,66	12,1	0,83	0,87	21,1	1,14	0,07	3,03	0,2	0,17	0,52	0,07B	0,44	0,52	0,18AB	0,31	6,07	0,72A
GERANIÁCEA																		
ERODC	6,63	72,4	7,3	5,59	72,7	7,1	3,9	34,2	9,1	6,06	4,68B	0,04AB	1,38	0,52B	0,00B	4,92	59A	2,55A
GRAMINÁCEAS																		
AVENS	1,08B	23,2B	1,31B	1,08B	21,7B	1,37B	8,7A	82,8A	23,6A	2,2	6,25B	0,7B	1,85	9 B	0,48B	2,23	57,7A	5A
BROMD	2,46B	37,3B	2,72B	3,32B	38,1B	4,08B	12,4A	73,9A	33,9A	1,36	6AB	0,5B	0,44	1,04B	0,18B	0,73	15,5A	1,6A

Tabla 4. (continuación)

ESPECIE	QUINTO AÑO DE ENSAYO (2007-2008) ANTES DEL 2º CORTE (JUNIO)									SEXTO AÑO DE ENSAYO (2008-2009) ANTES DEL 2º CORTE (JUNIO)								
	VI			D			VS			VI			D			VS		
	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE	AB	FR	DE
HORDM	4,16	43,3B	2B	3,6	39,8B	2,1B	7,97	71,4A	14,8A	26,2	30B	1,44B	11,3	7,63C	0,4B	8,8	83A	12,8A
LOLIR	0,3	2,08B	0,35	1,8	38A	2,42	0,36	17,1AB	0,94	0,7	3,03B	0,41	1,73	2,08B	0,3	0,93	27A	2
LAMIU	4A	24,2A	0,27A	1AB	8,95AB	0,03AB	0	0	0									
LEGUMINOSAS																		
ASTRS	0	0	0	0,075	0,58	0,12	0,4	13,61	0,94	0	0	0	0,22B	0,58B	0,08	0,64A	22,3A	1,16
MEDIM	0,5B	4,68B	0,42B	1,26B	16,8B	1,12B	7,86A	82,3A	19,9A	2,2B	3,03B	0,47B	3,92AB	4,68B	0,43B	8,89A	87,4A	19,3A
MEDIP	0,21B	3,88B	0,25B	0,93AB	21,2B	1,18B	3,45A	72,1A	9,3A	0,44B	2,08B	0,2B	0	0	0	6,08A	76,7A	13,5A
TRIFS	0,37	7,63	0,5B	0,58	13,8	0,74AB	1,5	38	3,96A	0,52AB	3,03B	0,3B	0,16B	0,52B	0,07B	3,36A	50,9A	7,16A
VICIS	0,14B	3,11B	0,16B	0	0	0	0,96A	32,2A	2,7A	1,14A	7	0,32AB	0	0	0	0,24AB	13,8	0,63A

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. AB (%): Abundancia; FR (%): frecuencia; DE (individuos/m²): Densidad. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 5. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición de biotipos antes del primer control de la cubierta (abril)

ABUNDANCIA RELATIVA DE BIOTIPOS (%)																		
BIOTIPO	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
T.C							0,06	0	0	0,106	0,033	0,041	0,16A	0,02B	0,01B	0,86A	0,12B	0,14B
T.E	53,5	51,3	52,04	29,1AB	14,8B	42,1A	54,5B	59,3AB	65,6A	48,33	63,2	53,6	57,9AB	67,4A	50,6B	50,9AB	66,6A	37,4B
T.RA	26,6	26	27	50,1	59,4	38,5	24,5A	23,8A	14,6B	22,4A	19,3A	11,8B	15,02	11,84	15,2	15,9	10,2	23,2
T.RO	2,12	1,85	1,4	4,41A	2,29B	3,84AB	9,22	8,8	7,61	7,5	12,2	19,3	13,6	14,02	15,2	10,2B	12,2B	20A
T.TR	11,38	3,62	11,14	0,75B	0,09C	1,9A	5,3A	0,21B	5A	17,5A	0,05 C	5,98B	7,05A	0,10C	2,72B	14,1A	0,02C	1,02B
T/H.C	0,36	0,63	0,07				0,2	0,1	0,19	0,17	0,15	0,07	5,2	5,6	4,6	1,9	0,12	2,1
T/H.E	1,79B	8,74A	2,79B	13,9B	21,1A	8,25C	2,93	3,7	4,44	1,84	2,95	1,63	3,84	4,63	2,47	4,21	4,83	5,3
T/H.RA	0,028	0	0,038				3,66	4,81	4,41	0,13	0,03	0,28	0,07	0	0,073	0,08	0,009	0,12
T/H.RO	1,28	0,72	1,94				0,41	0,5	1,17	0,74B	0,61B	2,85A	0,33B	0,35B	8,25A	0,28B	0,47B	6,3
H/G.E				0	0	0,05				0	0	0,0042	0	0	0,013			
H/G.RA	0,04	0	0	0,045	0,44	2,24	0	1,5	1,19	0,014	0,033	0,043	0,15	0,11	0,1	1,64	0,12	0,13
H/G.RO	0,021	0	0				4,75	4,9	5,7	0,109	0,05	0,11	0,14	0,036	0,215	0,05B	0,24B	0,72A
G	0,67B	4,64A	1AB	1A	0,51AB	0,4B	0,74AB	1,53A	0,25B	0,36	0,54	0,169	0,17	0,18	0,6	0,44	0,11	1,17
FRECUENCIA RELATIVA DE BIOTIPOS (%)																		
BIOTIPO	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
T.C							2,83	0,26	0	0,87	1,02	0,31	1,02	2,97	0,29	74,4A	10,5B	8,26B
T.E	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
T.RA	100	97,9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
T.RO	54,25	36,3	31,3	98,6	97,8	84,2	95,5	99,9	93,1	93,4	100	100	100	100	100	100	100	100
T.TR	93,6A	47,6B	91,3A	51A	14,26B	66,3A	97,8A	15,46B	85,1A	100A	12,4B	97,9A	100A	7,63B	85A	100A	8,09B	66A
T/H.C	1,15	3,21	0,31				16,9	14,6	2,94	16,2	13,2	1,77	0,8	0,26	0,31	0,3	0,88	0,34
T/H.E	40,3	72,1	43,3	95,7	97,1	88,9	99,9	84,1	93,5	79,8	89	95,8	99,9	95,5	87	97,2	100	100
T/H.RA	1,6	0,19	0,68				0,97	0,95	2,45	0,98	0,31	3,68	0,95	0	0,91	17,5	1,74	5,74
T/H.RO	44,5A	10,8B	57,5A				32	57	73,4	65,6AB	44,7B	89,4A	39,1B	34,7B	100A	37,3B	69,3A	99,9A
H/G.E				0	0	1,71				0	0	0,52	0	0	0,52			
H/G.RA	1,04	0	0	0,8	0,99	0,98	0	0,26	1,02	0,99	0,29	0,99	11,4	22	3,96	14,6	23,9	6,12
H/G.RO	0,52	0	0				0,91	0,29	0,26	1,02	0,31	3,7	2,08B	8,33B	35,8A	10,2B	20,4AB	62A
G	22B	57,7A	28,2AB	60,1B	86,1A	61,1B	50,3	86,3	29,3	41,1	49,3	18,6	24,9	23,4	13,8	27,5	16,5	24,7

Tabla 5. (continuación)

DENSIDAD ABSOLUTA DE BIOTIPOS (individuos/m ²)																		
BIOTIPO	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
T.C							0,73	0	0	0,51	0,17	0,39	0,06A	0,13A	1,35B	11,1A	0,91AB	0,42A
T.E	154A	59,7B	126A	209A	176AB	143B	407	454	517	562C	697B	973A	545AB	624A	396B	702B	1014A	409C
T.RA	78,6A	66,4A	30,9B	368AB	576A	194B	180A	182A	115B	263	214	218	143	107	117	231	219	250
T.RO	6,39	3,42	2,12	31,9A	21,9AB	16,6B	69,4	66,6	59,6	83,7B	128AB	280A	127	124	114	140	185	215
T.TR	34,5A	28,7A	4,29B	5,41A	0,89B	8,34A	40,3A	1,57B	39,7A	202A	1C	105B	63,9A	0,78C	19,8B	202A	2,58B	11,4B
T/H.C	0,62	0,66	0,125				1,17	0,71	0,41	1,17	0,64	0,26	0,14	0,06	0,18	0,14	0,195	0,32
T/H.E	5,36	10,5	6,95	102B	202A	35,6C	21,9	27,3	35,2	22,2	32,9	29,6	35,2AB	41,8A	18,5B	62,3	77,5	57
T/H.RA	0,06	0	0,09				0,43	0,23	0,31	0,4	0,16	1,85	0,3	0	0,35	0,98	0,11	0,53
T/H.RO	4,51AB	0,98B	5,26A				8,6	3,53	9,13	8,82B	7,24B	54,6A	3,15B	3B	64A	0,96B	1,47B	5,3A
H/G.E				0	0	0,12				0	0	0,02	0	0	0,02			
H/G.RA	0,04	0	0	0,19	0,29	0,33	0	0,09	0,37	0,31	0,1	0,33	0,97	0,94	0,35	0,933	1,45	0,59
H/G.RO	0,02	0	0				0,21	0,19	0,06	0,54	0,19	1,05	0,13A	0,33A	1,92B	0,47B	3,36AB	8,11A
G	2,07	6,02	3,12	7,56	14,1	8,69	5,97AB	12,5A	2,05B	4,12	6,01	2,39	1,09B	1,39AB	7,71 A	3,34	5,25	5,95

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; H/G: Hemicriptófito/Geófito; G:Geófito; C: cespitoso; E: erecto; RA: rastrero; RO: rosulado; TR: trepador.

Tabla 6. Abundancia, frecuencia y densidad de biotipos antes del segundo control de las cubiertas (junio)

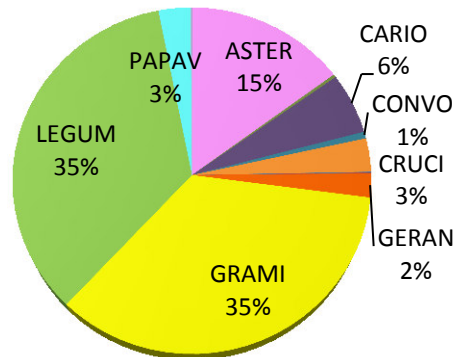
BIOTIPO	ABUNDANCIA RELATIVA (%)						FRECUENCIA RELATIVA (%)						DENSIDAD (individuos/m ²)					
	AÑO 5			AÑO 6			AÑO 5			AÑO 6			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
T.C	0,02	0	0,01				0,76	0	0,76				0,06	0	0,06			
T.E	79,6A	81,3A	56B	59,2	51,8	37,5	100	100	100	100	100	100	84,5B	100AB	152A	9,1B	6,27B	82,8A
T.RA	2,62B	3,81B	16,7A	5,8B	9,81B	22,5A	15,9B	99,9A	99,9A	67,6	49,5	56,2	1,66B	4,83B	44,6A	2,27	0,7	4,26
T.RO	6,71	5,74	4,17	3,63AB	0,49B	5,31A	76,2	82,4	64,9	4,68B	4,13B	95,7A	6,9	7,18	8,77	0,44	0,2	10,6
T.TR	0,14B	0	0,99A	1,53	0	0,66	0,8B	0	36,9A	2,45	0	4,14	0,13B	0	2,64A	0,43B	0	1,21A
T/H.C				0	0	0,12				0	0	0,91				0	0	0,29
T/H.E	7,64A	5,72A	1,47B	0,35	1,88	2,9	100	100	100	1,28B	3,15B	99,9A	8,2	6,8	3,58	0,15B	0,31B	6,24A
T/H.RA	0	0	0,17	0	0	0,15	0	0	0,99	0	0	2,56	0	0	0,35	0	0	0,31
T/H.RO	0,19B	0,2B	18,2A	0,17B	0,67B	10,7A	10,4B	3,03B	100A	0,52B	3,88B	100A	0,18B	0,24B	49,5A	0,13B	0,42B	26,6A
H/G.E				0	0	0,68				0	0	4,21				0	0	1,15
H/G.RA	0	0,15	0,13	0	0	0,29	0	0,8	0,87	0	0	2,91	0	0,13	0,25	0	0	0,55
H/G.RO	0,17B	1,15A	0,02B	0,22	1,41	0,53	3,03B	13,8A	0,52B	0,29	2,07	2,91	0,18B	1,4A	0,06B	0,09	0,2	0,91
G	1,74	1,32	0,95	18,9A	25,4A	2,92B	29,3	50,1	18,9	43,4	41	70,9	1,79	1,65	2,12	2,28	2,39	3,08

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.). T: Terófito; T/H: Terófito/Hemicriptófito; H/G: Hemicriptófito/Geófito; G:Geófito; C: cespitoso; E: erecto; RA: rastrero; RO: rosulado; TR: trepador.

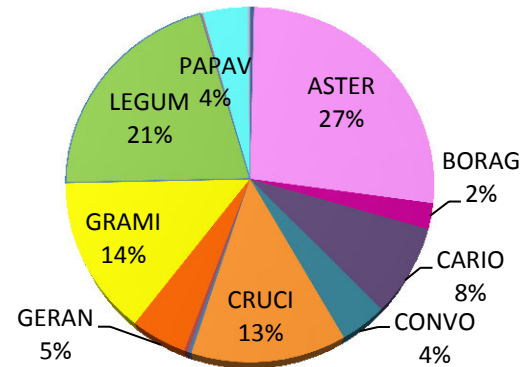
FIGURA
2003-2004

**Veza
sembrada
labrada**

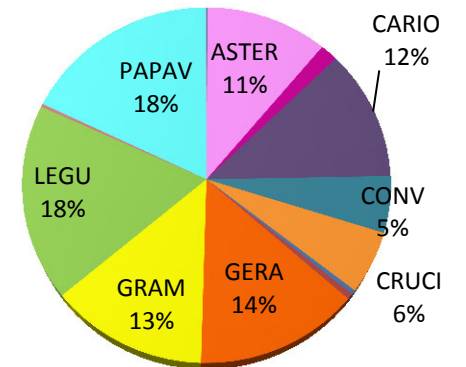
Abundancia relativa familiar individual



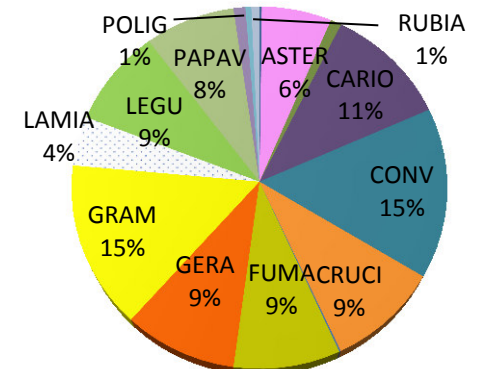
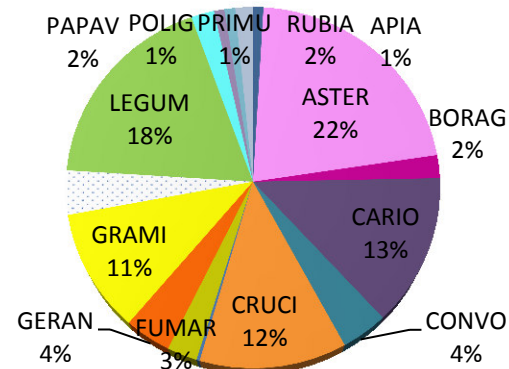
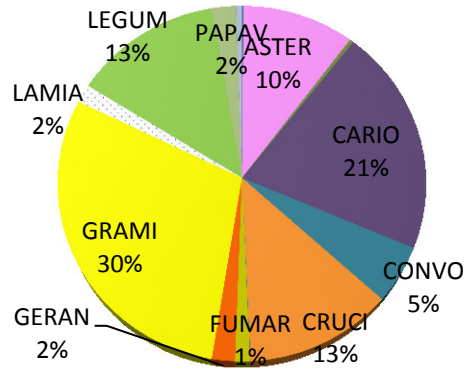
Abundancia relativa familiar específica



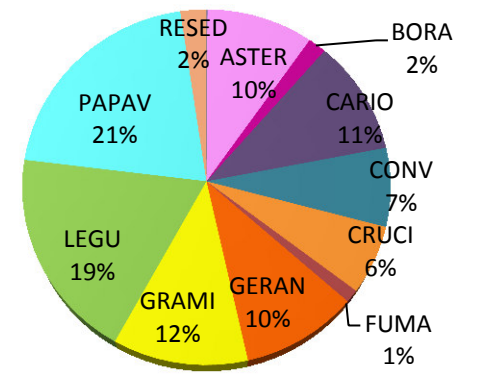
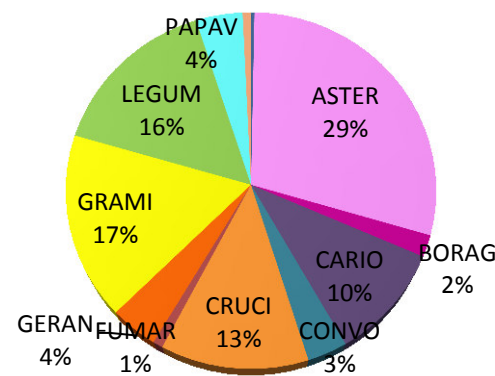
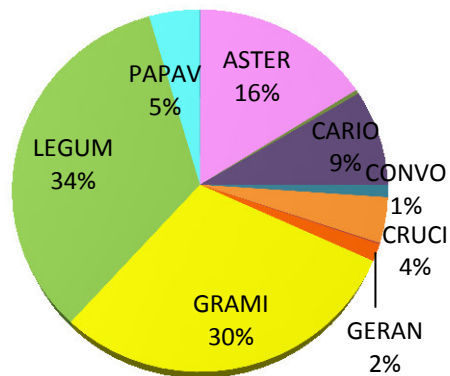
Frecuencia relativa



**Cubierta
espontánea
labrada**



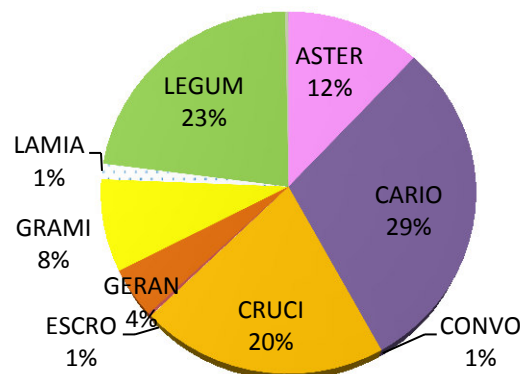
**Veza
sembrada
desbrozada**



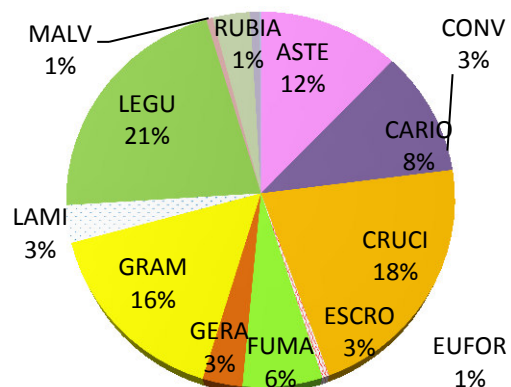
**FIGURA
2004-2005**

**Veza
sembrada
labrada**

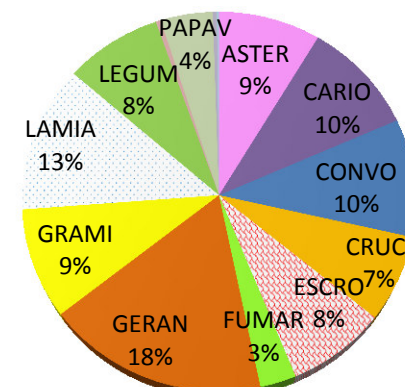
Abundancia relativa familiar individual



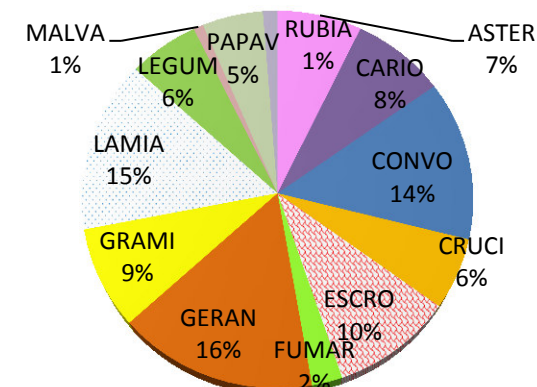
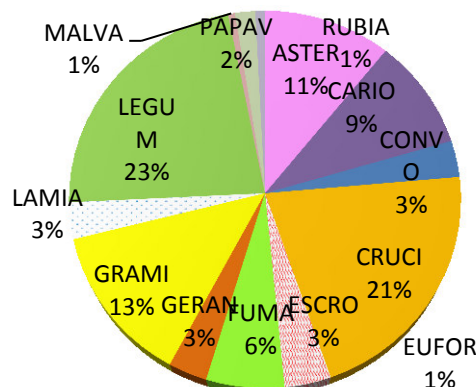
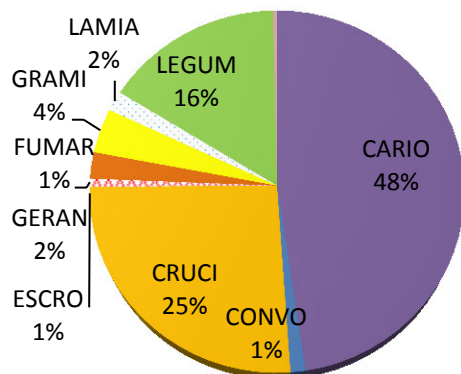
Abundancia relativa familiar específica



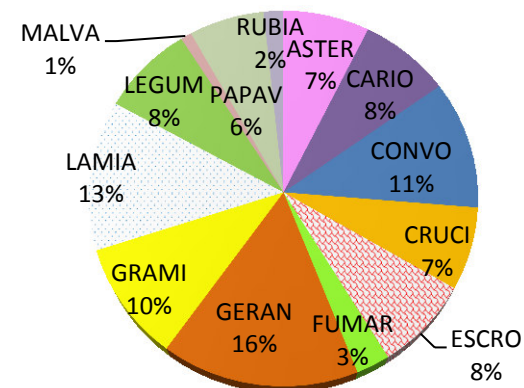
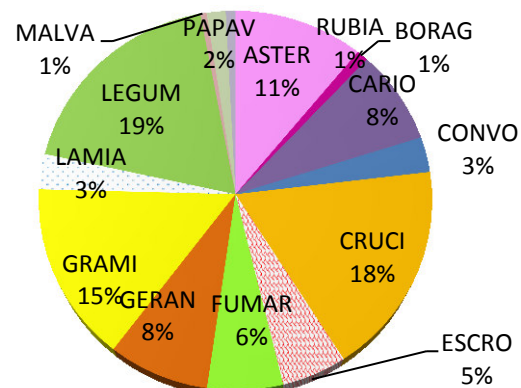
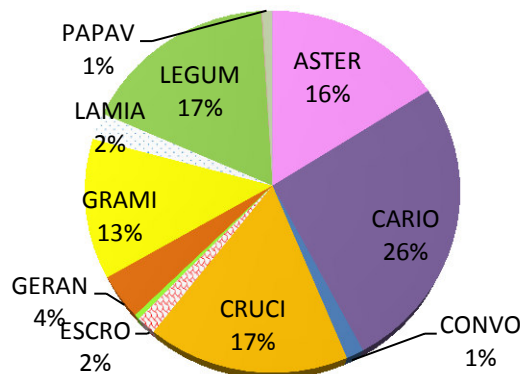
Frecuencia relativa



**Cubierta
espontánea
labrada**



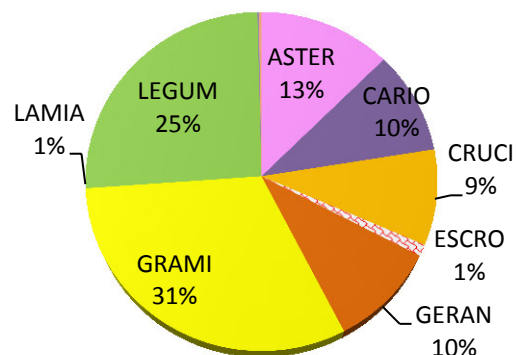
**Veza
sembrada
desbrozada**



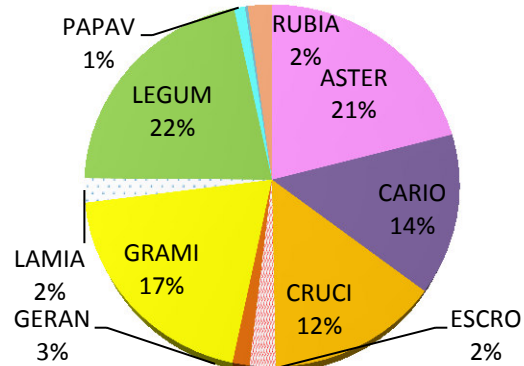
**FIGURA
2005-2006**

**Veza
sembrada
labrada**

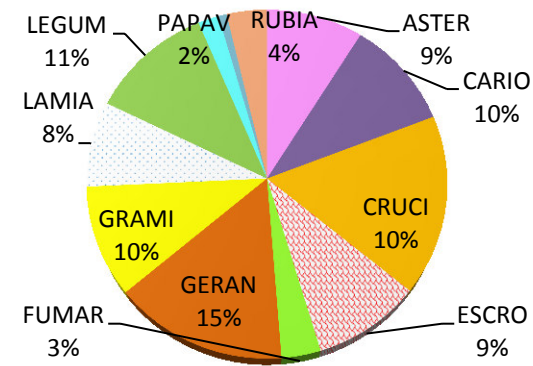
Abundancia relativa familiar individual



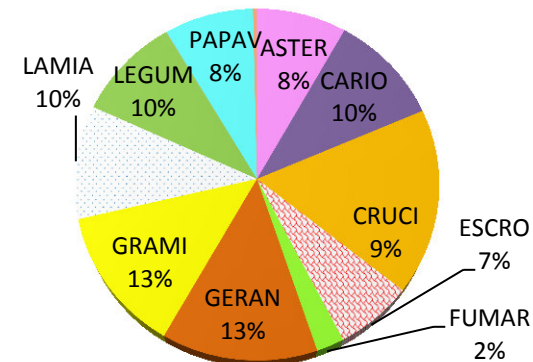
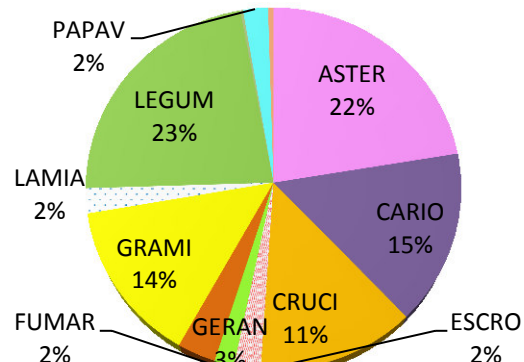
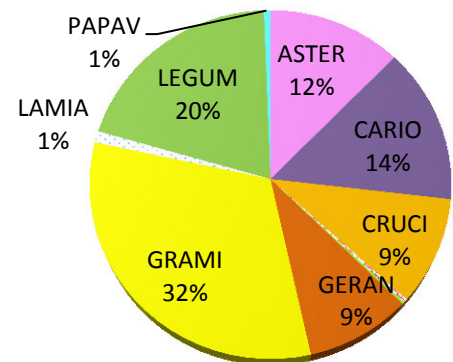
Abundancia relativa familiar específica



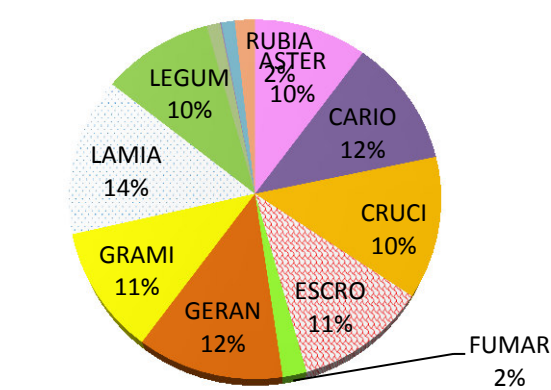
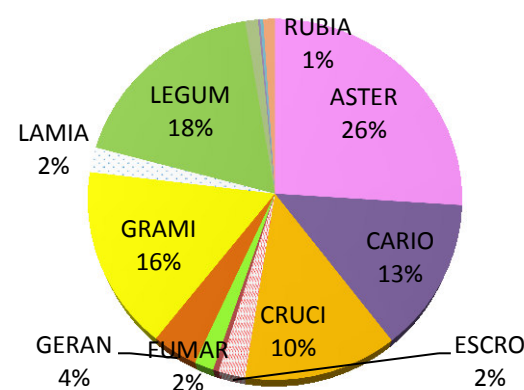
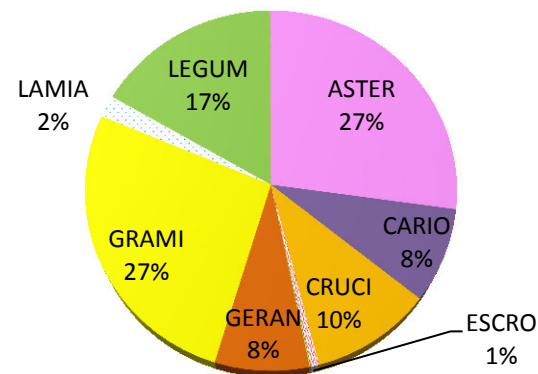
Frecuencia relativa



**Cubierta
espontánea
labrada**



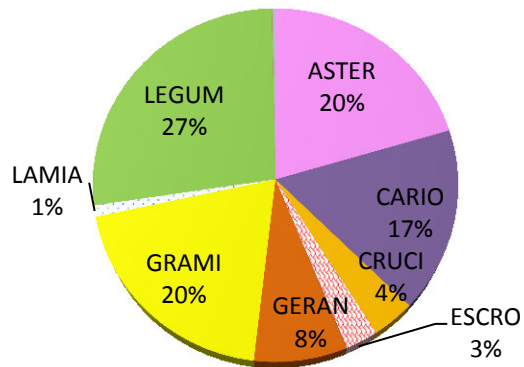
**Veza
sembrada
desbrozada**



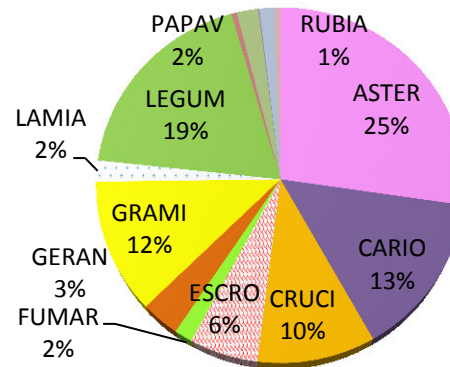
**FIGURA
2006-2007**

**Veza
sembrada
labrada**

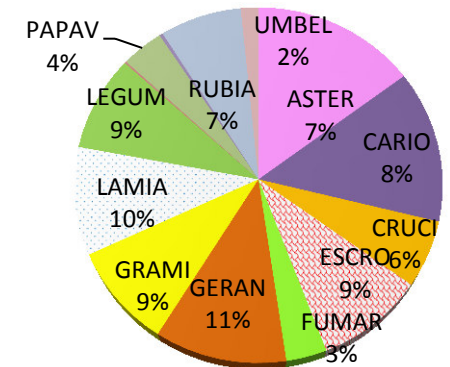
Abundancia relativa familiar individual



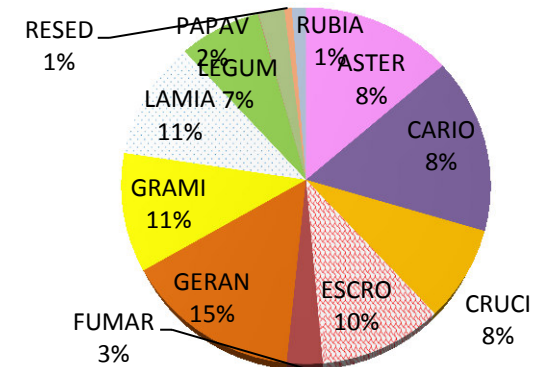
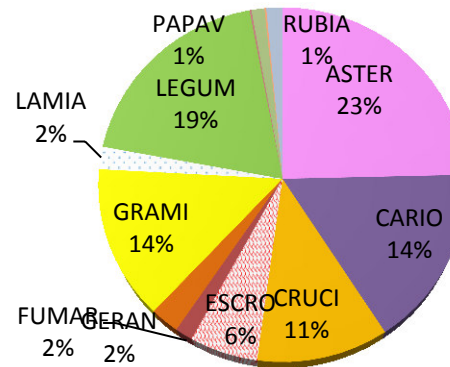
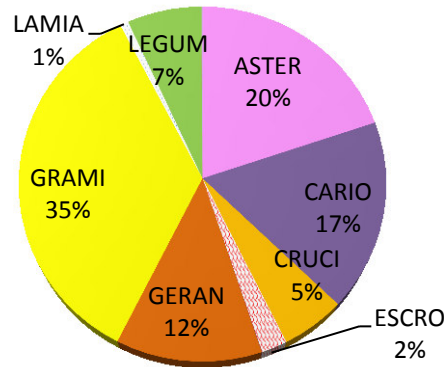
Abundancia relativa familiar específica



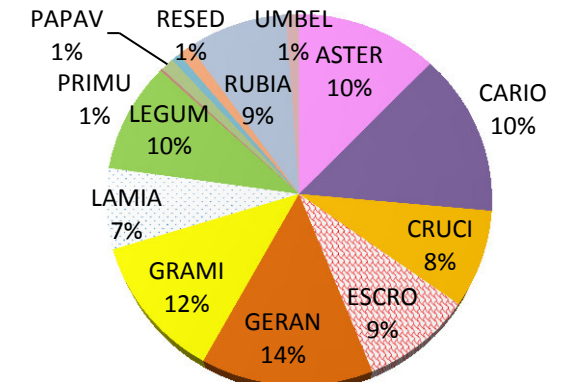
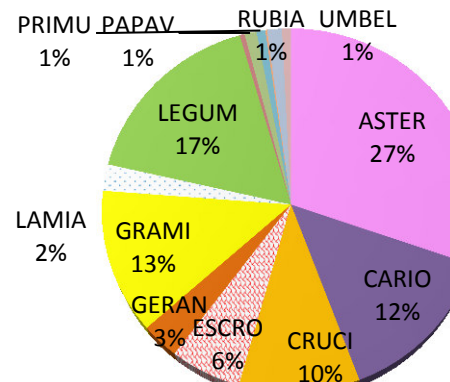
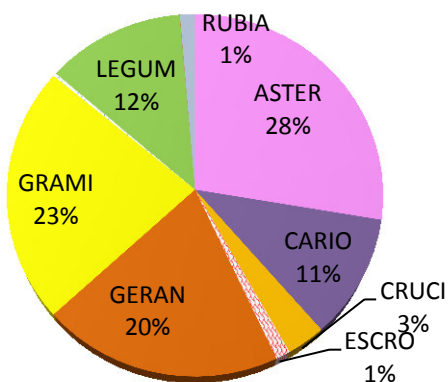
Frecuencia relativa



**Cubierta
espontánea
labrada**



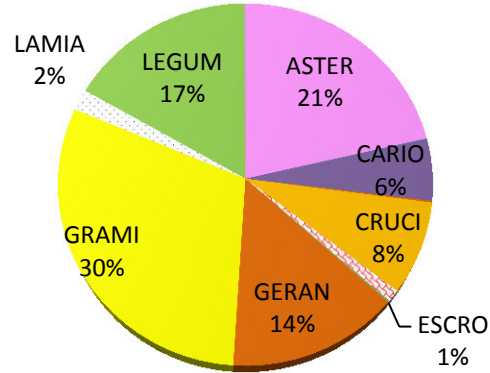
**Veza
sembrada
desbrozada**



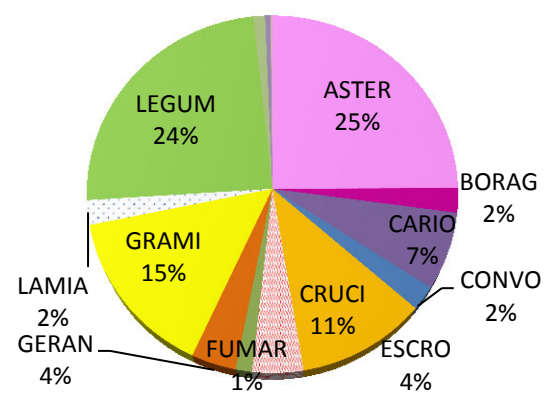
**FIGURA
2007-2008**

**Veza
sembrada
labrada**

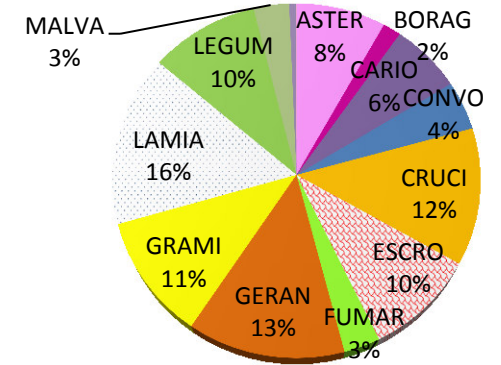
Abundancia relativa familiar individual



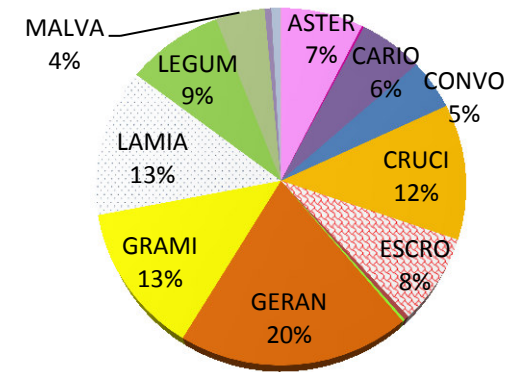
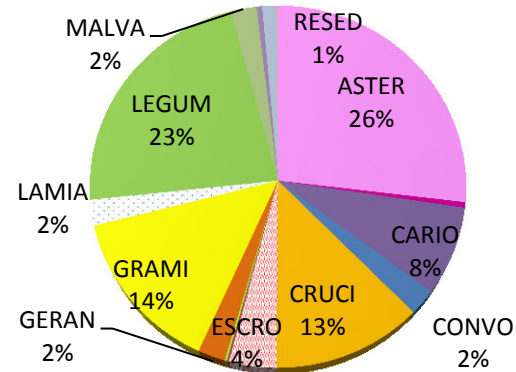
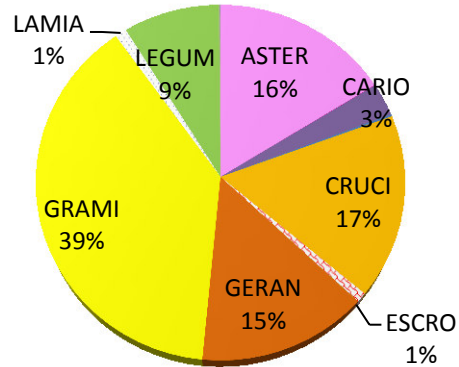
Abundancia relativa familiar específica



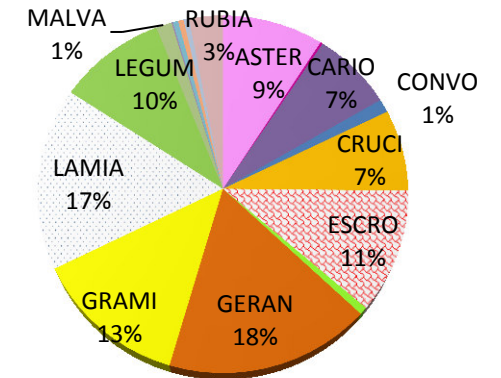
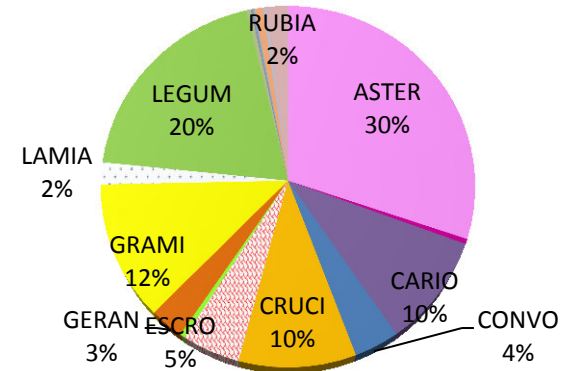
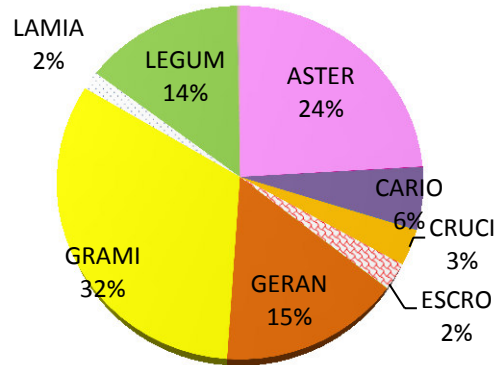
Frecuencia relativa



**Cubierta
espontánea
labrada**



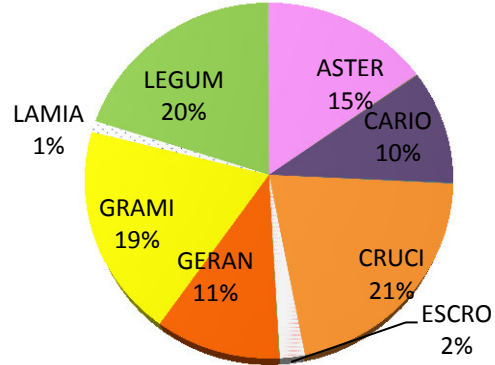
**Veza
sembrada
desbrozada**



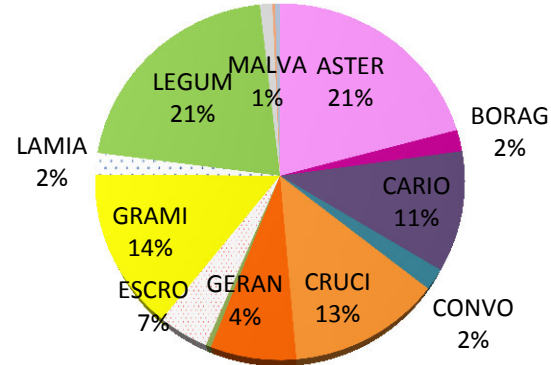
**FIGURA
2008-2009**

**Veza
sembrada
labrada**

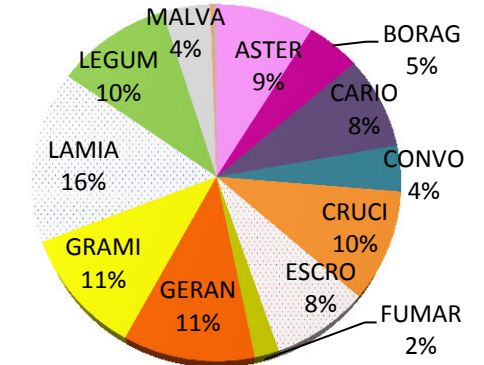
Abundancia relativa familiar individual



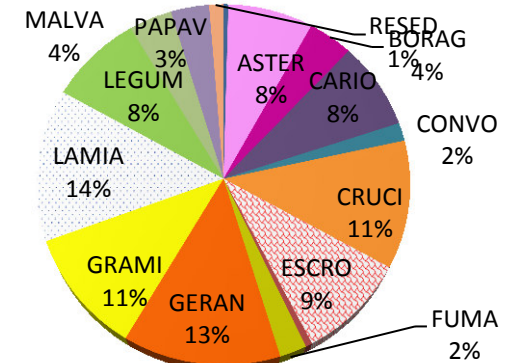
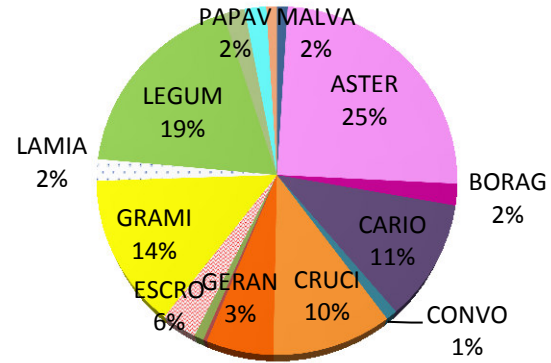
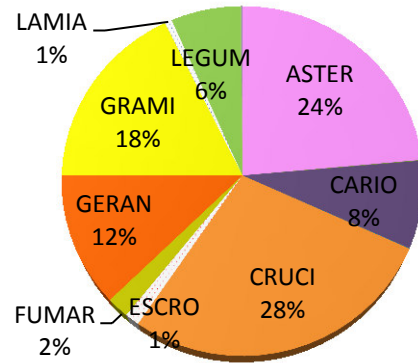
Abundancia relativa familiar específica



Frecuencia relativa



**Cubierta
espontánea
labrada**



**Veza
sembrada
desbrozada**

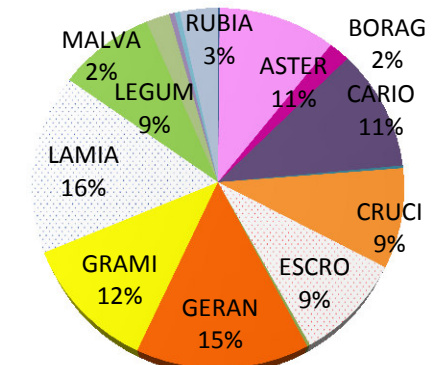
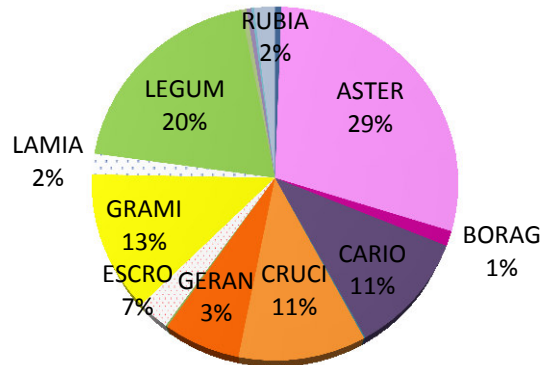
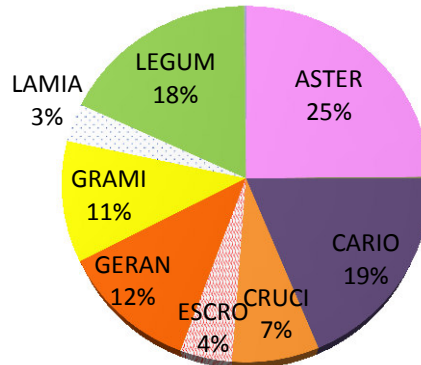


Figura 1. Composición familiar expresada como abundancia relativa individual y específica y como frecuencia relativa de las familias que aparecen el quinto (2007-2008) y sexto (2008-2009) año de ensayo antes del segundo control de la cubierta en el tratamiento con veza sembrada e incorporada (VI)

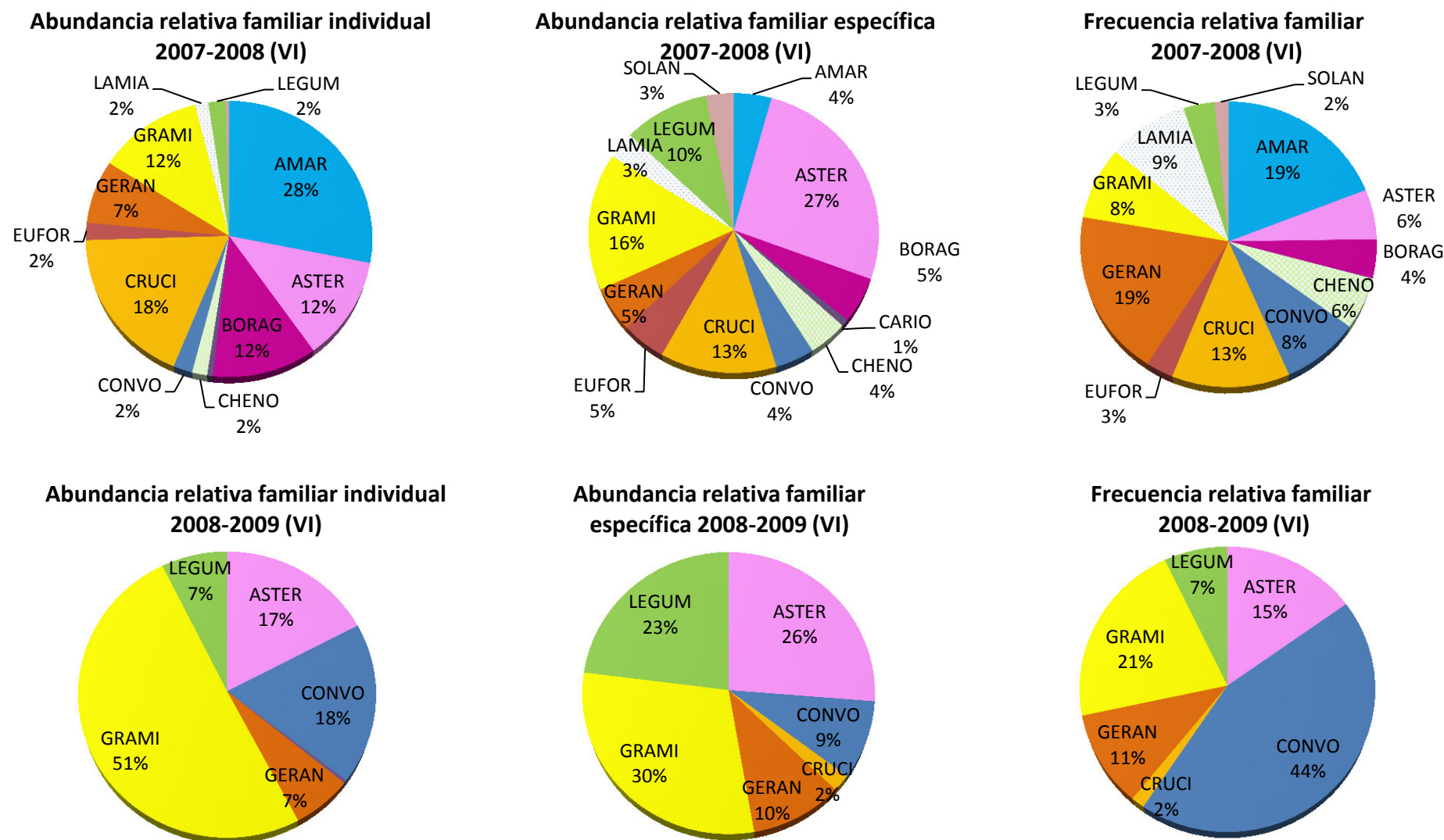


Figura 2. Composición familiar expresada como abundancia relativa individual y específica y como frecuencia relativa de las familias que aparecen el quinto (2007-2008) y sexto (2008-2009) año de ensayo en el tratamiento con cubierta espontánea incorporada (D)

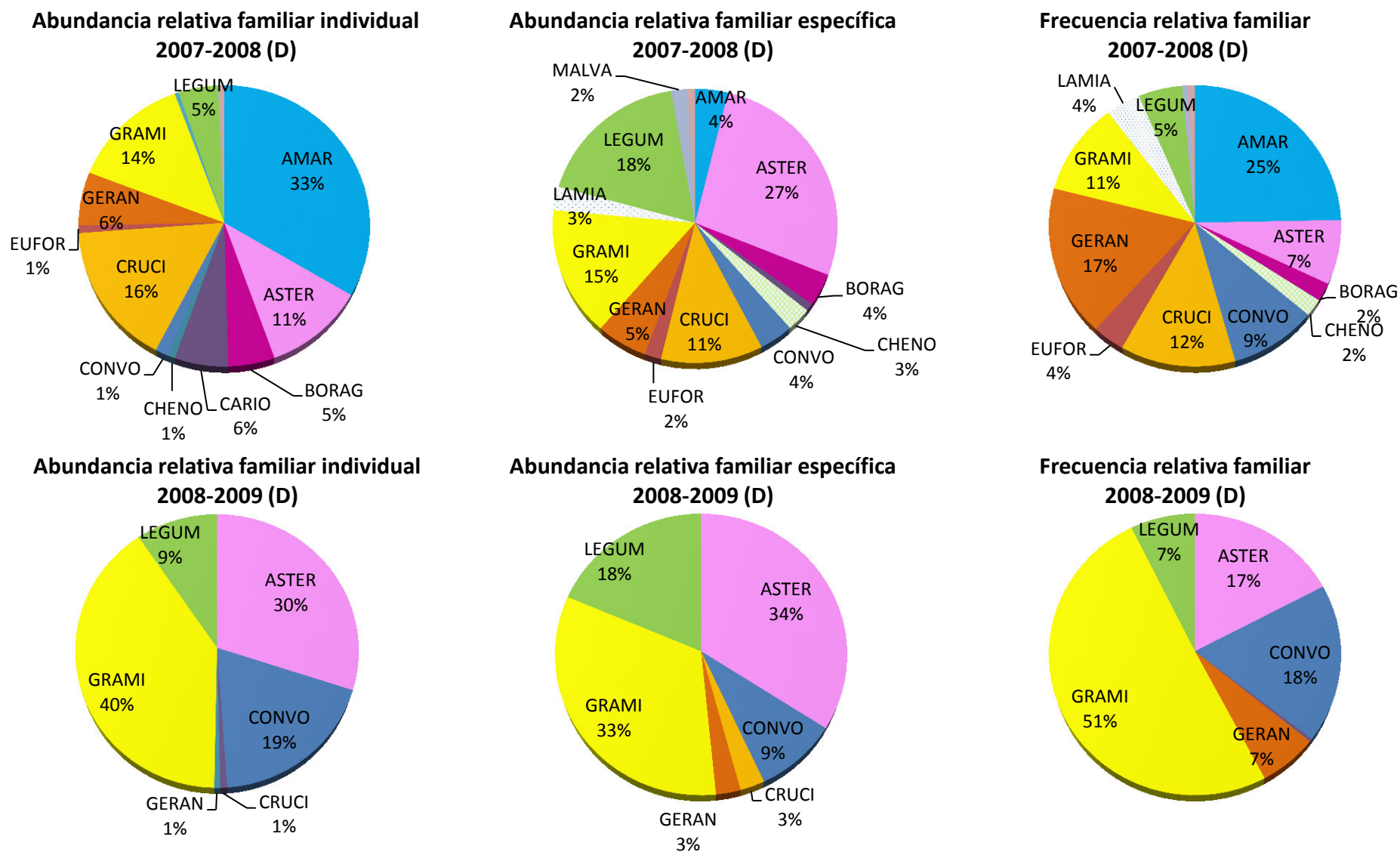
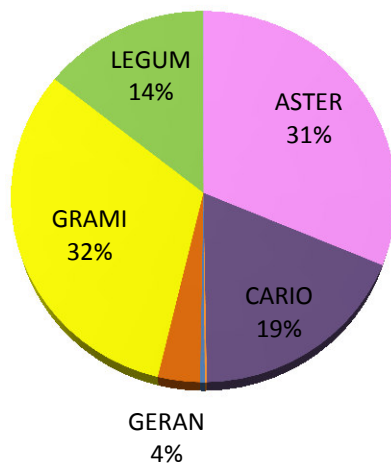
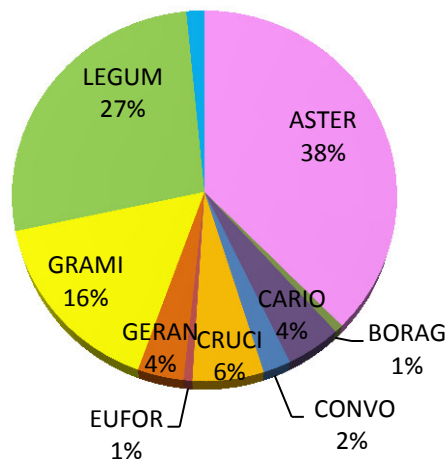


Figura 3. Composición familiar expresada como abundancia relativa individual y específica y como frecuencia relativa de las familias que aparecen el quinto (2007-2008) y sexto (2008-2009) año de ensayo en el tratamiento con veza sembrada y desbrozada (VI)

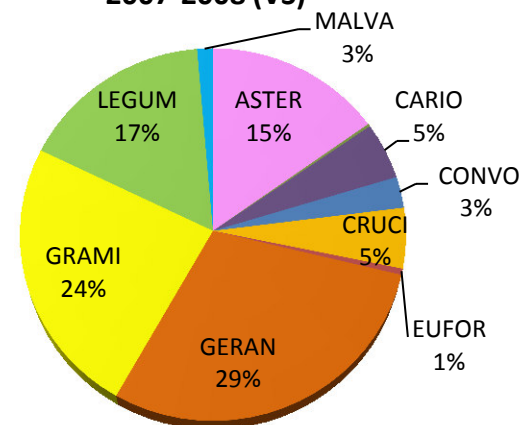
**Abundancia relativa familiar individual
2007-2008 (VS)**



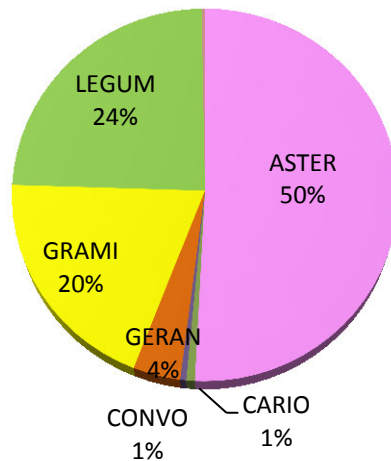
**Abundancia relativa familiar específica
2007-2008 (VS)**



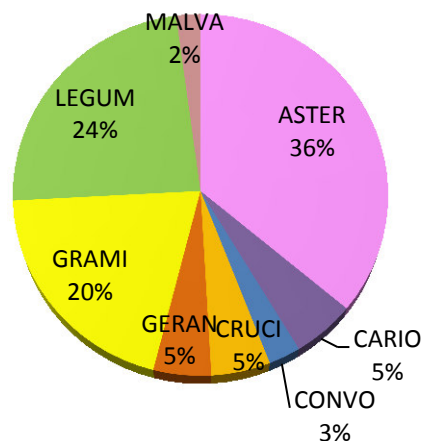
**Frecuencia relativa familiar
2007-2008 (VS)**



**Abundancia relativa familiar individual
2008-2009 (VS)**



**Abundancia relativa familiar específica
2008-2009 (VS)**



**Frecuencia relativa familiar
2008-2009 (VS)**

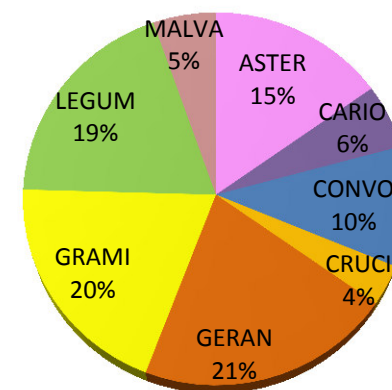


Tabla 7. Diferencias anuales entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipo (ABRIL)

		2003-2004			2004-2005			2005-2006			2006-2007			2007-2008			2008-2009		
		VI	T	VS	VI	T	VS	VI	T	VS	VI	T	VS	VI	T	VS	VI	T	VS
Riqueza	Familia	27,7	28,5	30,2	34	34,7	33,7	48,2	46,2	45,5	53,7	49,7	53,5	46,7B	45,2B	50,7A	53	51,3	54
	Género	10AB	12,5A	9,5B	12,7	12,8	12,8	12,7	12,2	12,2	14A	13AB	12,2B	12,2	12,7	12,2	12B	14A	11,7B
	Especie	25,2	27,2	27,2	27,5	28,7	28,5	43	40,5	40,5	45,5	42,7	44,5	37,5B	38,5B	42,7A	42,5	43	44
	Biotipo	8,25	7,5	7,5	7	6,5	6,5	9,75	8,75	9	9,75	8,5	9,75	10,25	9,25	9,5	10,75	9,66	9,75
Diversidad Shannon	Familia	1,53B	1,93A	1,59B	1,79A	1,43B	1,81A	1,75	1,76	1,73	1,78A	1,72AB	1,66B	1,77	1,61	1,68	1,81	1,72	1,78
	Género	2,31	2,62	2,41	2,20AB	1,82B	2,35A	2,75	2,65	2,69	2,72	2,55	2,56	2,39B	2,36B	2,62A	2,48B	2,38B	2,83A
	Especie	2,39	2,65	2,55	2,35AB	1,91B	2,48A	2,99	2,92	2,88	2,84	2,73	2,75	2,5B	2,53B	2,79A	2,56B	2,47B	3,04A
	Biotipo	1,20	1,33	1,24	1,19A	1,06B	1,17AB	1,24	1,10	1,14	1,35A	1,05B	1,25A	1,22B	0,98C	1,43A	1,37A	1B	1,56A
Diversidad máxima	Familia	2,3AB	2,51A	2,24B	2,53	2,54	2,54	2,54	2,50	2,49	2,63A	2,56AB	2,50B	2,50	2,54	2,49	2,48AB	2,63A	2,46B
	Género	3,20A	3,29B	3,3AB	3,30	3,35	3,34	3,75	3,69	3,70	3,81	3,75	3,79	3,62B	3,64B	3,75A	3,74	3,75	3,78
	Especie	3,3	3,34	3,4	3,52	3,54	3,51	3,87	3,83	3,81	3,97	3,90	3,97	3,84B	3,81B	3,92A	3,96	3,93	3,98
	Biotipo	2,09	2,01	2,01	1,86	1,86	1,93	2,27	2,15	2,18	2,27	2,13	2,27	2,32	2,22	2,23	2,37A	2,25B	2,27AB
Diversidad Simpson	Familia	0,71B	0,82A	0,73B	0,79	0,73	0,77	0,78	0,78	0,78	0,79A	0,77AB	0,76B	0,76	0,74	0,78	0,81	0,78	0,83
	Género	0,83B	0,89A	0,85AB	0,83A	0,73B	0,84A	0,89	0,89	0,90	0,90	0,87	0,86	0,84	0,85	0,87	0,87AB	0,85B	0,91A
	Especie	0,84	0,89	0,88	0,85A	0,74B	0,85A	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85B	0,87AB	0,90A	0,87AB	0,85B	0,91A
	Biotipo	0,61	0,64	0,63	0,63	0,56	0,59	0,61	0,56	0,53	0,67A	0,54B	0,6B	0,59A	0,49B	0,67A	0,65A	0,5B	0,73A
Dominancia a Simpson	Familia	0,28A	0,17B	0,26A	0,20	0,26	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20B	0,22AB	0,23A	0,23	0,25	0,21	0,18	0,21	0,16
	Género	0,16A	0,10B	0,14AB	0,16B	0,26A	0,15B	0,10	0,11	0,09	0,09	0,12	0,13	0,15	0,14	0,12	0,12AB	0,14A	0,08B
	Especie	0,15	0,1	0,12	0,14B	0,25A	0,14B	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15A	0,12AB	0,09B	0,12AB	0,14A	0,08B
	Biotipo	0,38	0,35	0,36	0,36	0,43	0,40	0,38	0,43	0,46	0,32B	0,45A	0,39A	0,40B	0,50A	0,32B	0,34B	0,49A	0,26B
Equidad Pielou	Familia	0,66B	0,8AB	0,7B	0,70	0,59	0,71	0,69	0,7	0,69	0,67	0,67	0,66	0,68	0,63	0,68	0,73A	0,65B	0,76A
	Género	0,72B	0,79A	0,73AB	0,66AB	0,54B	0,70A	0,73	0,71	0,72	0,71	0,68	0,67	0,66	0,64	0,70	0,66B	0,63B	0,74A
	Especie	0,72B	0,79A	0,75AB	0,66AB	0,53B	0,70A	0,77	0,76	0,75	0,71	0,70	0,69	0,65	0,66	0,71	0,64B	0,63B	0,76A
	Biotipo	0,57B	0,66A	0,61AB	0,64A	0,57B	0,6AB	0,54	0,51	0,52	0,59A	0,49B	0,55AB	0,52B	0,44C	0,64A	0,57B	0,45C	0,69A

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 8. Diferencias anuales entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipo (JUNIO)

		2007-2008			2008-2009		
		VI	D	VS	VI	D	VS
Riqueza	Familia	11,4	11,1	8,4	4,97 B	4,73 B	9,46 A
	Género	23,4	24,2	27,6	10,3 B	10,2 B	31,4 A
	Especie	24 B	27,2 AB	33,7 A	11,2 B	11,7 B	37 A
	Biotipo	6,7 B	7 B	8,5 A	5,2 B	5 B	10,2 A
Diversidad Shannon	Familia	1,9 A	1,76 A	1,25 B	1,23	1,31	1,31
	Género	2,35	2,23	2,37	1,34 AB	1,56 A	1,06 B
	Especie	2,38	2,27	2,59	1,94 B	2,13 B	2,75 A
	Biotipo	0,76 B	0,77 B	1,24 A	1,06 B	1,11 B	1,52 A
Diversidad máxima	Familia	2,43	2,39	2,11	1,6 B	1,53 B	2,24 A
	Género	3,14	3,18	3,31	2,3 B	2,32 B	3,44 A
	Especie	3,16 B	3,3 AB	3,51 A	2,37 B	2,44 B	3,6 A
	Biotipo	1,9 B	1,94 B	2,13 A	1,59 B	1,59 B	2,32 A
Diversidad Simpson	Familia	0,8 A	0,75 A	0,66 B	0,66	0,72	0,67
	Género	0,85	0,78	0,87	0,98 A	0,98 A	1 B
	Especie	0,85	0,78	0,89	0,83 B	0,87 AB	0,89 A
	Biotipo	0,35 B	0,33 B	0,61 A	0,56 B	0,59 B	0,72 A
Dominancia Simpson	Familia	0,19 B	0,24 B	0,33 A	0,32	0,27	0,32
	Género	0,14	0,2	0,12	0,02 A	0,02 A	0,003 B
	Especie	0,12	0,18	0,1	0,16	0,11	0,09
	Biotipo	0,64 A	0,66 A	0,38 B	0,43 A	0,4 A	0,27 B
Equidad Pielou	Familia	0,78	0,73	0,6	0,77 A	0,85 A	0,6 B
	Género	0,74	0,7	0,71	0,58 A	0,67 A	0,3 B
	Especie	0,74	0,69	0,73	0,82 AB	0,87 A	0,76 B
	Biotipo	0,4 B	0,39 B	0,58 A	0,66	0,69	0,65

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 9. Diferencias anuales entre tratamientos para la composición de grupos funcionales antes del primer control de la cubierta (abril)

GRUPOS FUNCIONALES	ABUNDANCIA RELATIVA DE GRUPOS FUNCIONALES (%)																	
	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
GRAMÍNEAS	25,2	22,98	17,12	7,12	3,21	9,6	29,46	31,31	23,25	17,72	32,61	20,16	28,2B	40,2A	28,2B	16,98	16,24	7,26
PERENNIZANTE	6,37B	0	9,52A				4,18B	2,78B	14,9A	7,54B	8,3AB	15,2A	2,3B	2,5B	9,53A	0	0	6,48
VEZA SEMBRADA	11,08	0	10,81	0	0	1,67			4,85	17,3A	0	5,93B	7,03A	0	2,37B	14,1A	0	0,95B
COMPETITIVAS	0	8,49	0				6,28	0	0	0	0,86	0	6,23	11,15	0	19,15B	25,8A	0
FLOR DE INVIERNO				14,3A	0	5,78B	0	0	0,21	0	2,3	4,02	0	2,92	0			
FIJADORAS RASTRER	0	6,65	0	20,5A	14,1B	13,6B	14,7A	16,4A	9,75B	7,03	0	5,05	4,85B	6,9AB	10,4A	0	3,64B	12,8A
RUDERAL SECO	19,92	0	17,8							0	16,27	0				13,03	0	0
FLOR TARDÍA	0	1,77	0	0	3,47A	0,67B							0	0	2,71	0	19,15	20,55
ESCIONITRÓFILAS				31,19	0	26,32	13,2A	5,8B	0	0	0	12,18	19A	4,28B	0	0	18,78	0
ESCIÓFILASEVITADOR	5,88	14,07	4,25	0	42,86	0	0	0	10,86	19,8A	11,4B	0	0	0	3,07	25,8	0	6,42
PEQUEÑASPRATENS							4,63	7,84	4,01	1,5	4,46	3,06	0	0	1,09			
MARGARITAS				0,33	0	0	2,6AB	0	8,33A	0	0	4,54				0	0	2,98
RUDERAL VERNAL	9,42	0	9,07	0	3,23	0	0	1,85	0							0	0	3,08
FLOR TEMPRANA				15,2C	26,2A	21,5B	7,92	15,28	0	8,17	6,22	3	18,9	14,58	3,28	12,96	0	8,23
RESTO	16,1B	39,6A	27,3AB	9,88	5,61	15,28	13,98	14,81	10,9	17,64	12,48	15,69	10B	9,23B	22,8A	10,72	14,34	19
GRUPOS FUNCIONALES	FRECUENCIA RELATIVA DE GRUPOS FUNCIONALES (%)																	
	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
GRAMÍNEAS	89	100	95,6	100	95	90,7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PERENNIZANTE	100	0	100				91	100	100	100	100	100	93,6AB	87,2B	100A	0	0	100
VEZA SEMBRADA	89,4	0	89,2	0	0	56	0	0	74,8	93,4	0	93,6	100A	0	78,6B	84	18	39
COMPETITIVAS	0	69,6	0				93,7	0	0	0	66	0	100	97,8	0	100	100	0
FLOR DE INVIERNO				100A	0	82,3B	0	0	100	0	84,7	100	0	100	0			
FIJADORASRASTRER	0	80,3	0	100A	100A	83,2B	100	100	100	100	0	100	97,8	100	100	0	100	100
RUDERAL SECO	100	0	100							0	100	0				100	0	0
FLOR TARDÍA	0	38,5	0	0	97,2A	32,4B							0	0	57	0	100	58,7
ESCIONITRÓFILAS				100	0	97,8	100	91,4	0	0	0	100	100	67	0	0	51,9	0
ESCIÓFILA EVITADOR	64,7AB	82,4A	49,3B	0	97,9	0	0	0	100	100	100	0	0	0	100	100	0	100
PEQUEÑAS PRATENS							100	100	100	70,2B	100A	93,4A	0	0	42,8			

Tabla 9. (continuación).

GRUPOS FUNCIONALES	FRECUENCIA RELATIVA DE GRUPOS FUNCIONALES (%)																	
	AÑO 1			AÑO 2			AÑO 3			AÑO 4			AÑO 5			AÑO 6		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
MARGARITAS				34	0	0	100	0	100	0	0	100				0	0	100
RUDERAL VERNAL	88,5	0	100	0	88,6	0	0	100	0							0	0	84
FLOR TEMPRANA				100	100	98,6	0	100	0	100	58,7	28,3	100	100	58,7	100	0	100
RESTO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DENSIDAD RELATIVA DE GRUPOS FUNCIONALES (individuos/m ²)																		
GRAMÍNEAS	50,3	26	30,3	51	29,7	37,3	211	210,5	175	197	351	198	251	310	206	225A	237,7A	74B
PERENNIZANTE	18,3	0	22,7				28,47A	19,3B	115B	86B	90B	254A	20B	18,8B	65,9A	0B	0B	59,6A
VEZA SEMBRADA	30,1	0	22,8	0	0	6,9	0	0	34,5	200A	0	96,5B	63A	0	17,3B	189,2A	0C	9B
COMPETITIVAS	0	9,23	0				41,1	0	0	0	9,2	0	54,9	73,8	0	259,6B	390A	0C
FLOR DE INVIERNO				101,3A	0	21,7B	0	0	31,3	0	27,2	48,9	0	25,4	0			
FIJADORAS RASTRE	0	7,52	0	148,6A	136,7A	65,3B	105,5A	111,7A	76,5B	77,5	0	85	44,1B	53AB	78,4A	0C	54,4B	132,8A
RUDERAL SECO	56	0	43,7							0	174	0				176A	0B	0B
FLOR TARDÍA	0	2,01	0	0	33,3A	3,07B							0	0	5,02	0B	248,2A	217A
ESCIONITRÓFILAS				213,8	0	81,8	96,1	30,5	0	0	0	246	161A	24B	0	0B	276,3A	0B
ESCIÓFILAS EVITAD	15,2	15,4	9,8	0	410	0	0	0	84,7	225	119	0	0	0	24,8	115,6A	0B	48,9A
PEQUEÑAS PRATEN							31,3	49,9	28,9	16,4	45,5	49,9	0	0	6,5			
MARGARITAS				2,1	0	0	11,5	0	50,3	0	0	87				0B	0B	27A
RUDERAL VERNAL	27,3	0	18,6	0	27,5	0	0	12,7	0							0B	0B	43A
FLOR TEMPRANA				109B	250,1A	90B	55	98,4	0	83	22,02	3,7	124	106,5	10,7	160,5A	0B	74A
RESTO	43,9	45,17	67,6	68	53	58,5	101	102	76,1	198AB	135,1B	259,9A	92,6B	68B	177A	147	217	196

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

Tabla 10. Diferencias anuales entre tratamientos para los indicadores de diversidad, dominancia y equidad a nivel de grupos funcionales antes del primer control de la cubierta (abril)

	2003-2004			2004-2005			2005-2006			2006-2007			2007-2008			2008-2009		
	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS	VI	D	VS
Diversidad máxima	1,95A	1,75B	1,95A	1,94B	1,94B	2,05A	2,19A	2,07B	2,19A	2,08B	2,19A	2,19A	2,07B	2,07B	2,16A	1,94B	1,79C	2,3A
Dominancia Simpson	0,21	0,27	0,19	0,21B	0,29A	0,22AB	0,18	0,21	0,16	0,17	0,2	0,2	0,22	0,27	0,2	0,16B	0,21A	0,15B
Equidad Pielou	0,87	0,82	0,89	0,86A	0,75B	0,81AB	0,87	0,83	0,88	0,89	0,82	0,83	0,83	0,76	0,82	0,95A	0,91AB	0,86B
Riqueza grupos	7A	5,7B	7A	7B	7B	7,7A	9A	8B	9A	8B	9A	9A	8B	8B	8,8A	7B	6C	10A
Diversidad Shannon	1,7	1,44	1,74	1,67A	1,47B	1,67A	1,9A	1,72B	1,95A	1,85	1,8	1,83	1,73	1,59	1,78	1,86A	1,63B	1,99A
Diversidad Simpson	0,78	0,71	0,8	0,78A	0,7B	0,77A	0,81	0,78	0,82	0,82	0,79	0,78	0,77	0,72	0,79	0,83A	0,78B	0,84A

VI: Veza sembrada y labrada; D: Cubierta espontánea labrada; VS: Veza sembrada y desbrozada. Test ANOVA (DBCA), diferencias LSD ($\alpha=0,05$) indicadas por letras distintas (A, B, etc.).

ANEXO 1.C.

Gráficos de evolución de los indicadores de composición y estructura florística de las familias y especies botánicas más importantes registradas antes del primer control de la cubierta.

Gráficos de evolución de los indicadores de composición y estructura de biotipos antes del primer control de la cubierta.

Gráficos de evolución de los índices de riqueza, diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, genérico, específico y de biotipos antes del primer y segundo control de la cubierta.

ABREVIATURAS

Las abreviaturas para familias y especies se corresponden con la codificación del Anexo 1.A

VI: Tratamiento con cubierta de veza y control con labor

D: Tratamiento con cubierta espontánea y control con labor

VS: Tratamiento con cubierta de veza y control con desbrozadora

De 1 hasta 6 en el eje de ordenadas equivale a año 1 (2003-2004), 2 (2004-2005), 3 (2005-2006), 4 (2006-2007), 5 (2007-2008) y 6 (2008-2009) del ensayo.

ABUND. IND: Abundancia relativa familiar individual (%)

DENS.: Densidad o abundancia absoluta (individuos/m²)

ABUND. ESP.: Abundancia relativa familiar específica (%)

Nº GEN-ESP.: Número de género – Número de especie. Cuando la familia evaluada está representada únicamente por una especie importante, coincide la evolución del número de géneros con la evolución del número de especies

H' max.: Índice de Diversidad máxima

DOMSIMP.: Índice de Dominancia de Simpson

SOBRE EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Tratamiento estadístico de diferencias anuales entre tratamientos: ANOVA combinado, diseño en Split-plot (parcelas divididas). Separación de medias por el método de la menor diferencia significativa (LSD). Nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Los resultados de la comparación de medias aparecen seguidas de una o varias letras, cada letra señala a un grupo homogéneo de medias, de forma que medias seguidas por alguna letra común no difieren significativamente entre sí para el nivel alfa elegido.

Figura 1. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Asteráceas

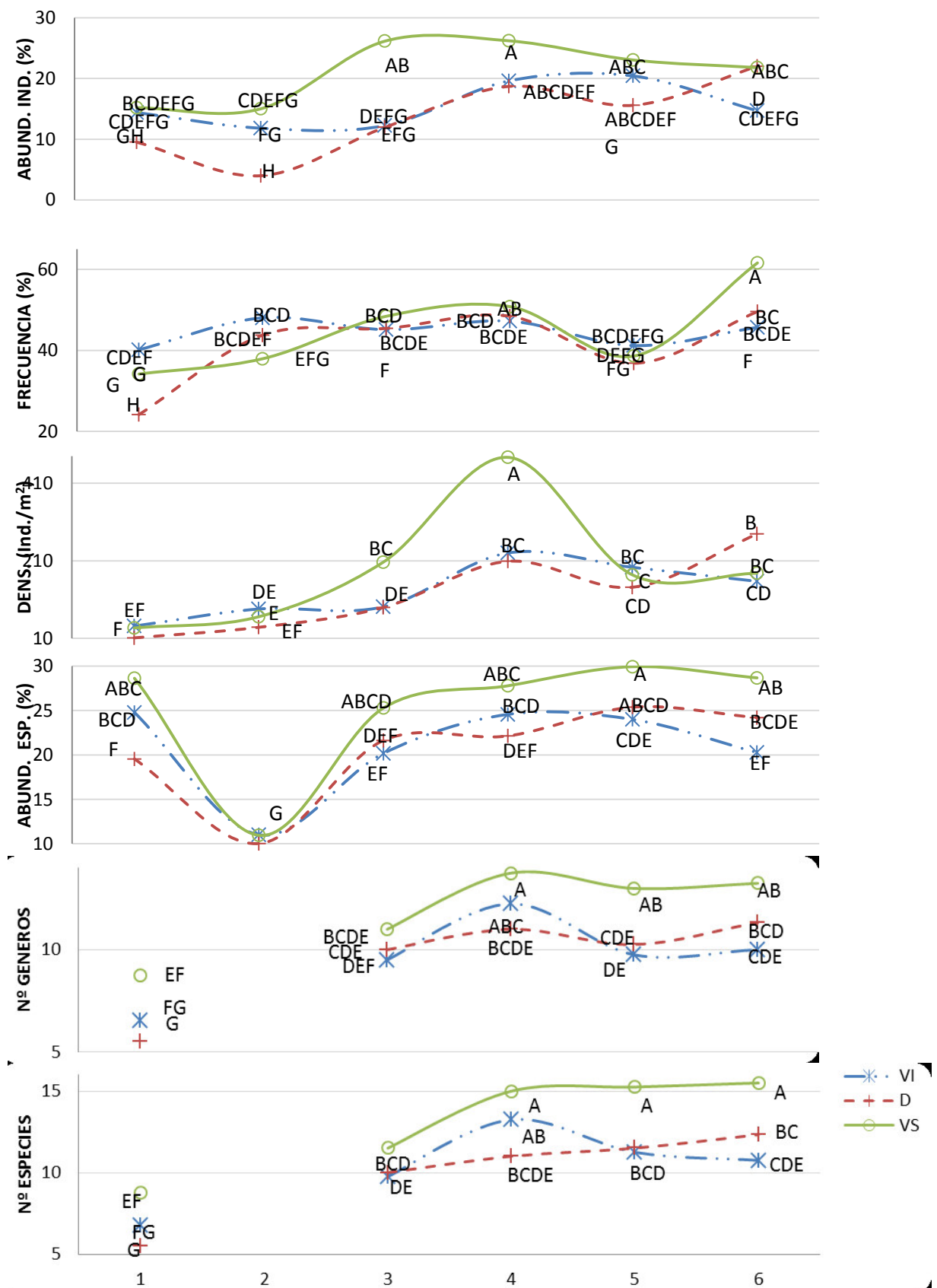
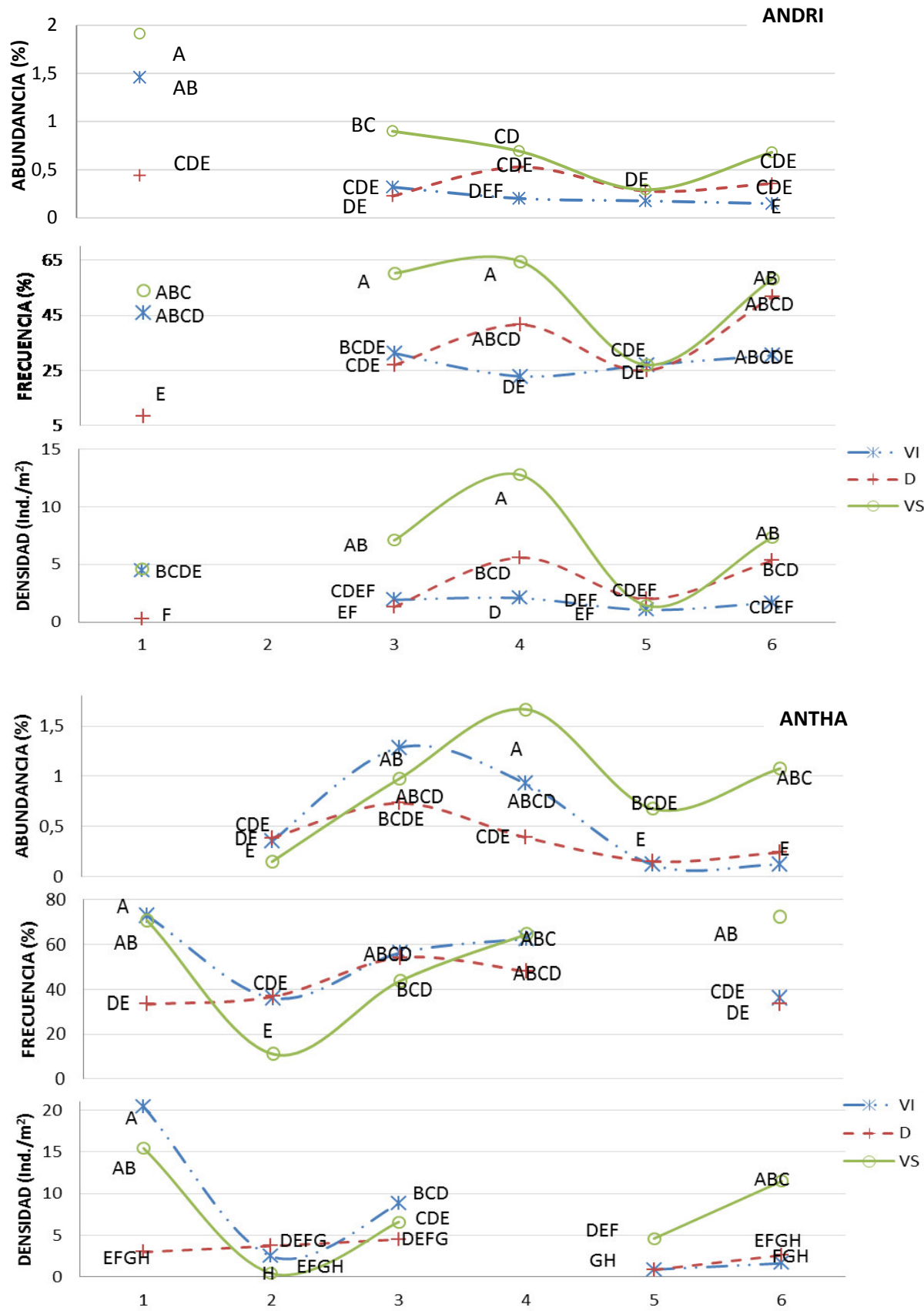
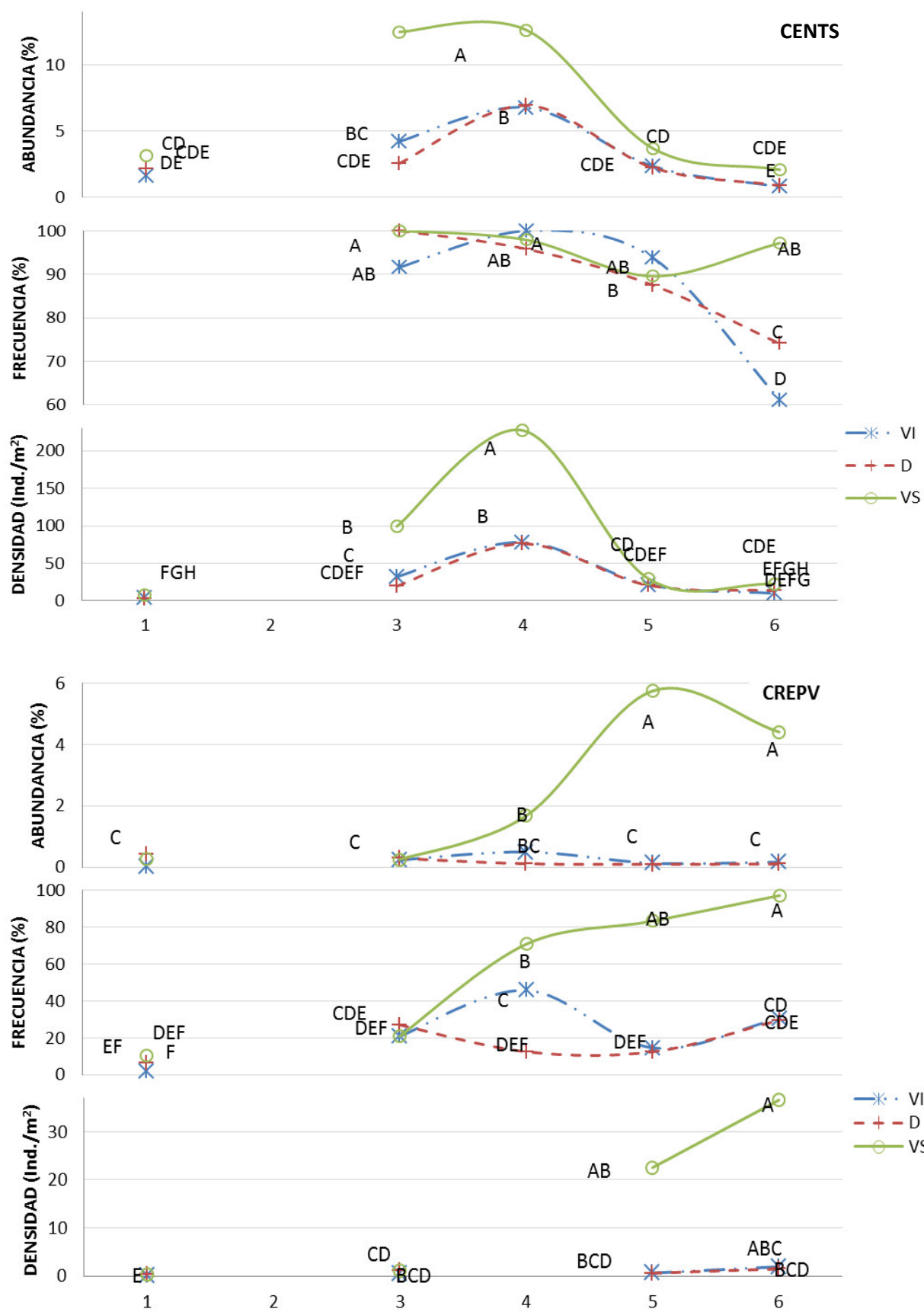
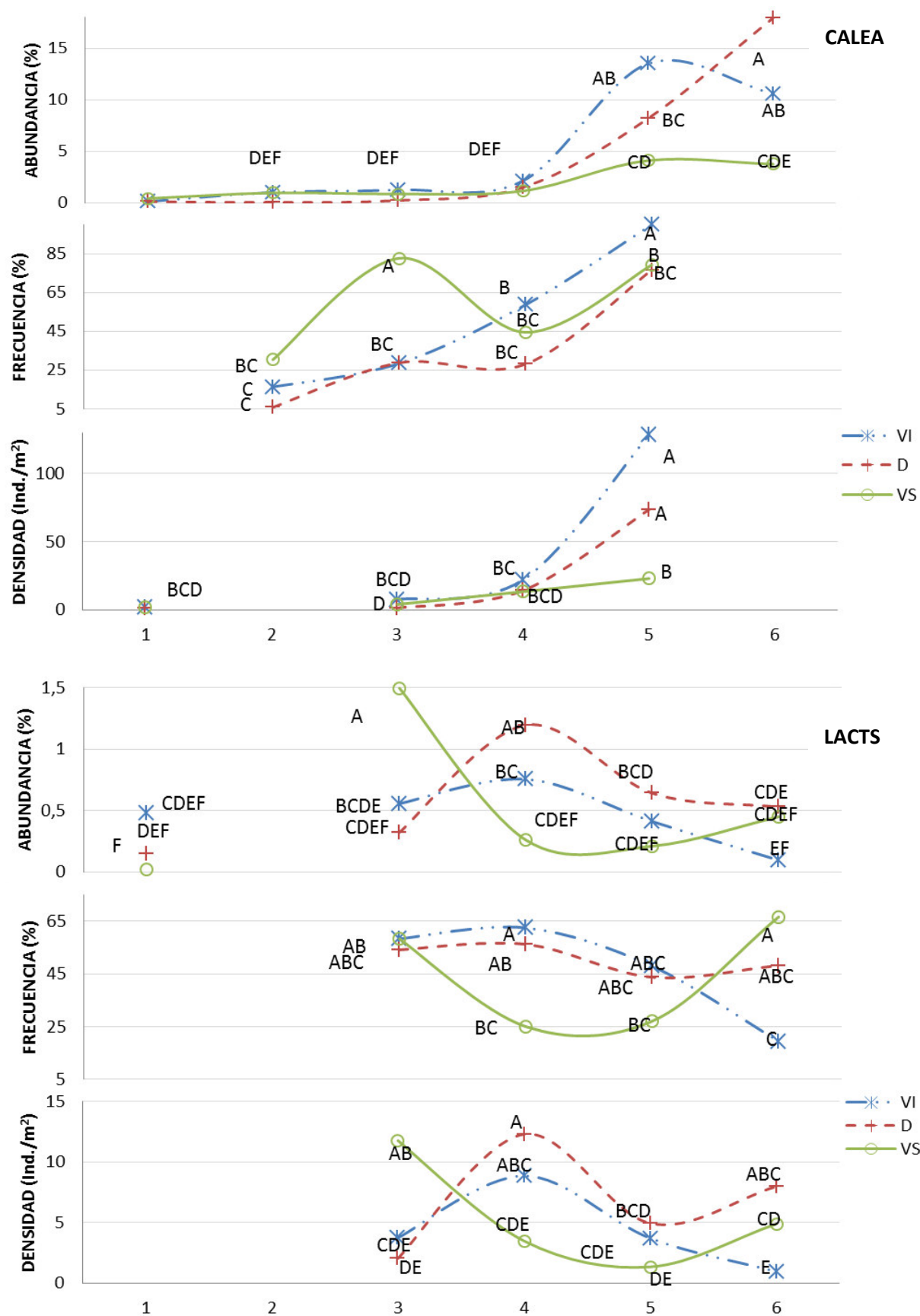


Figura 2. Evolución de los indicadores de composición para las especies de Asteráceas más importantes







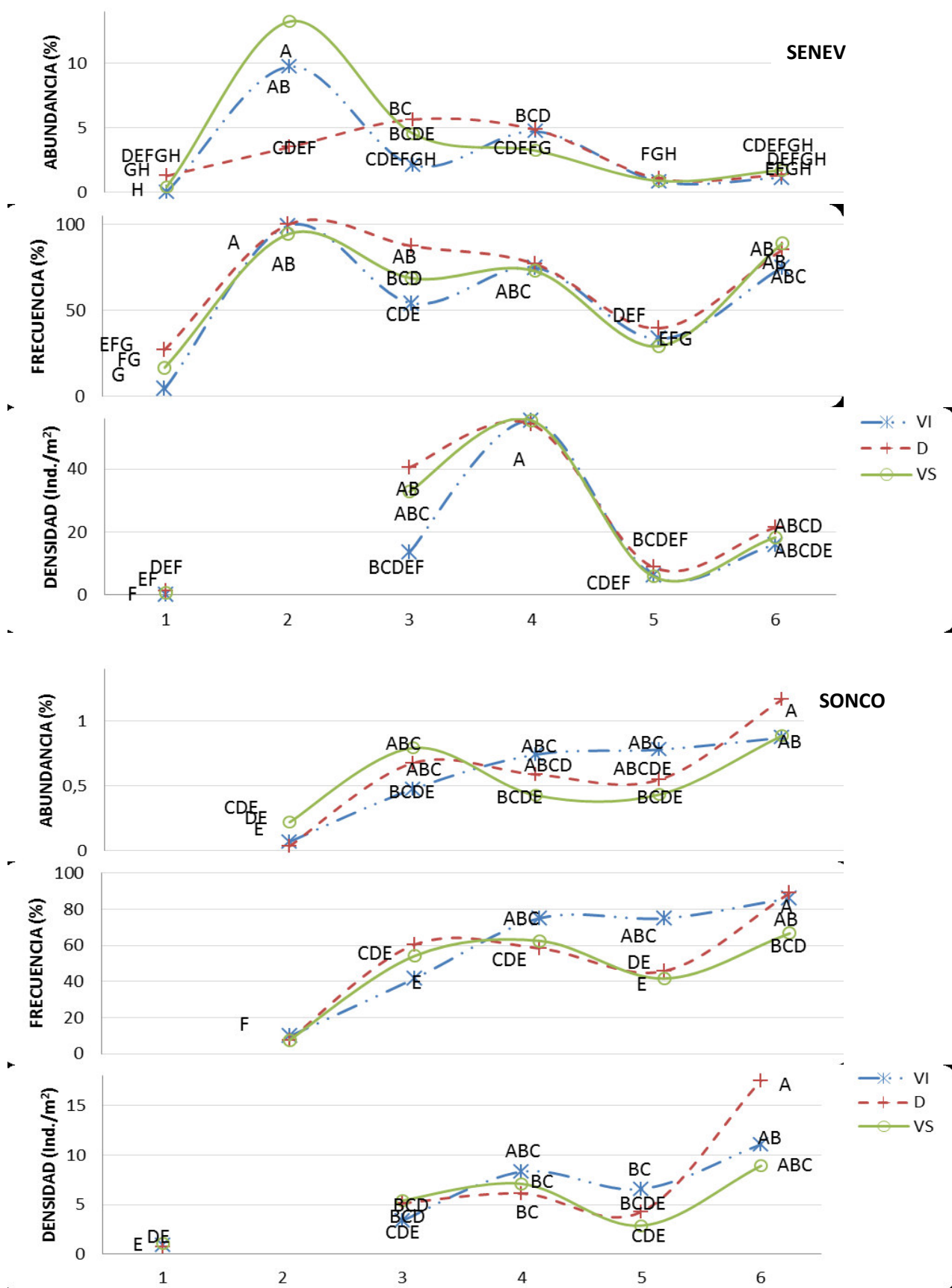


Figura 3. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Boragináceas

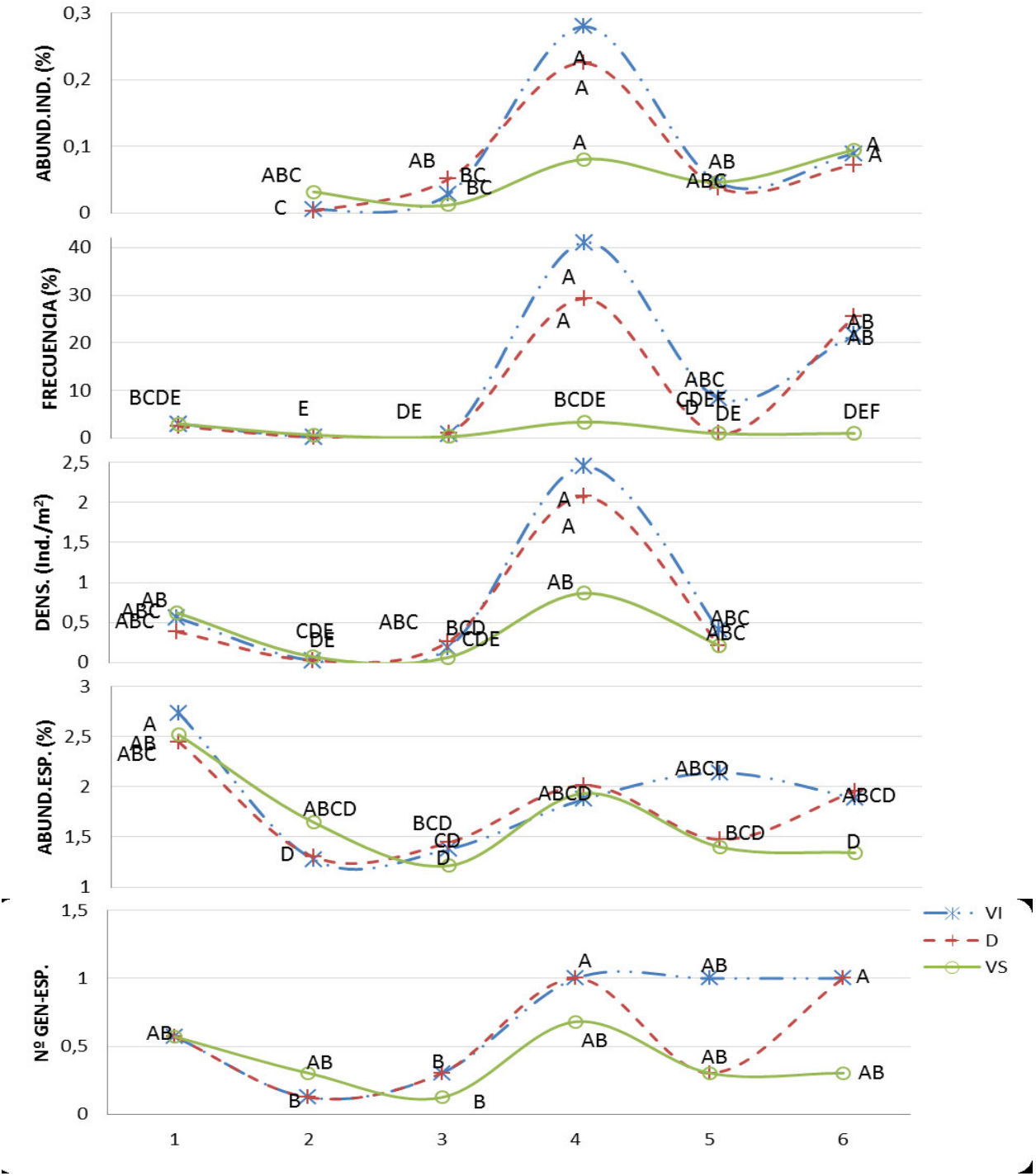


Figura 4. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Cariofiláceas

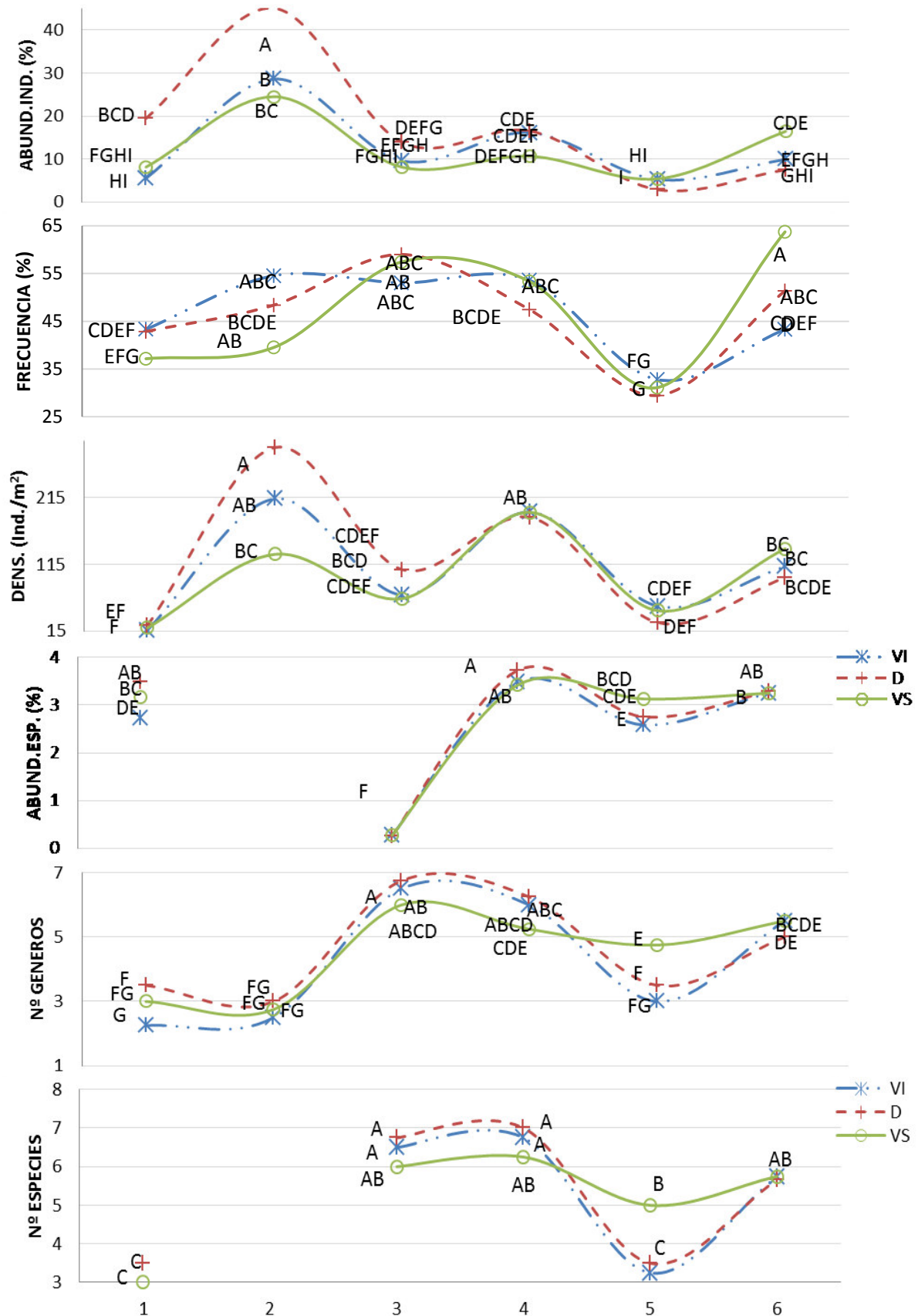
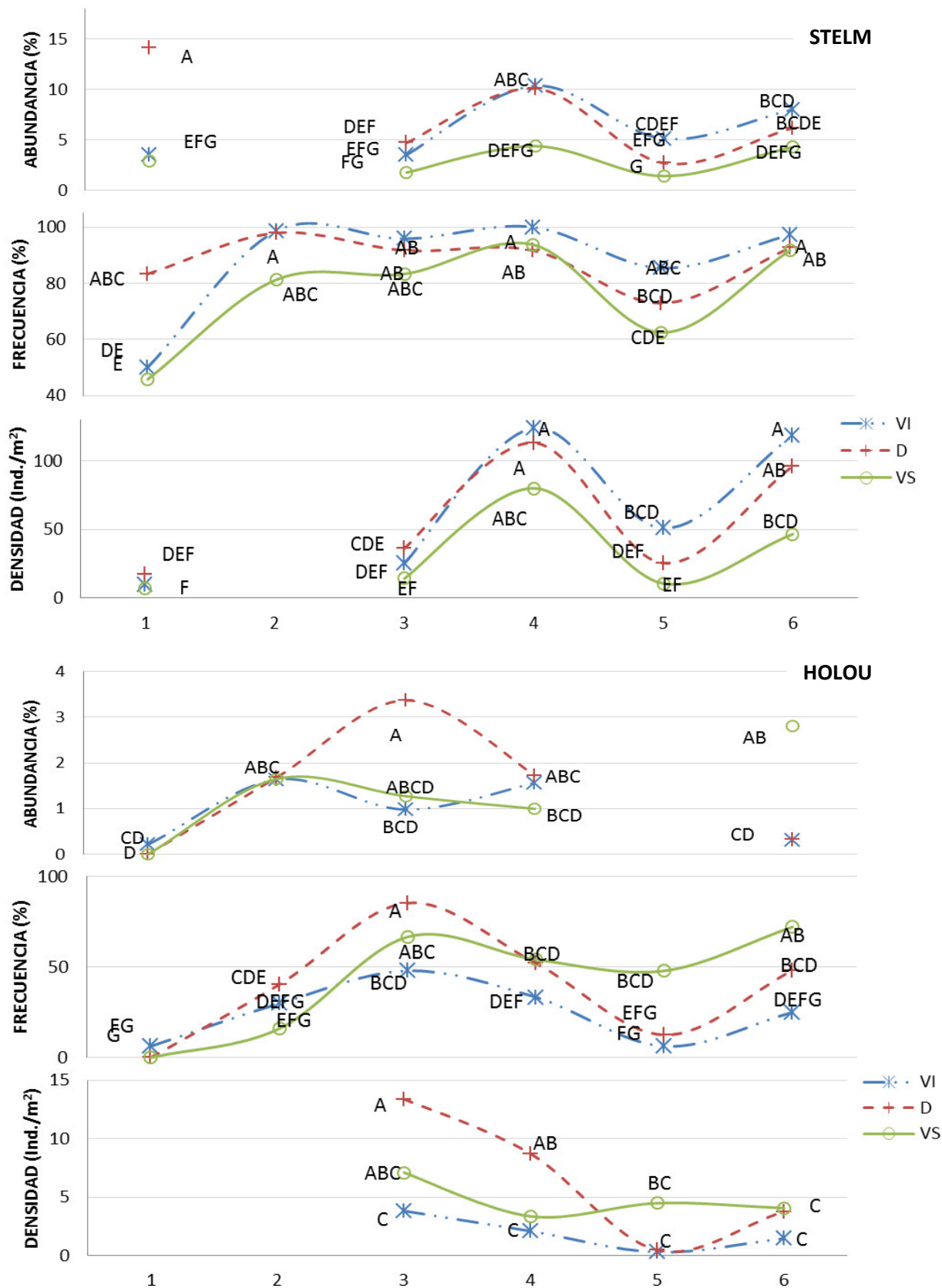


Figura 5. Evolución de los indicadores de composición para las especies de Cariofiláceas más importantes



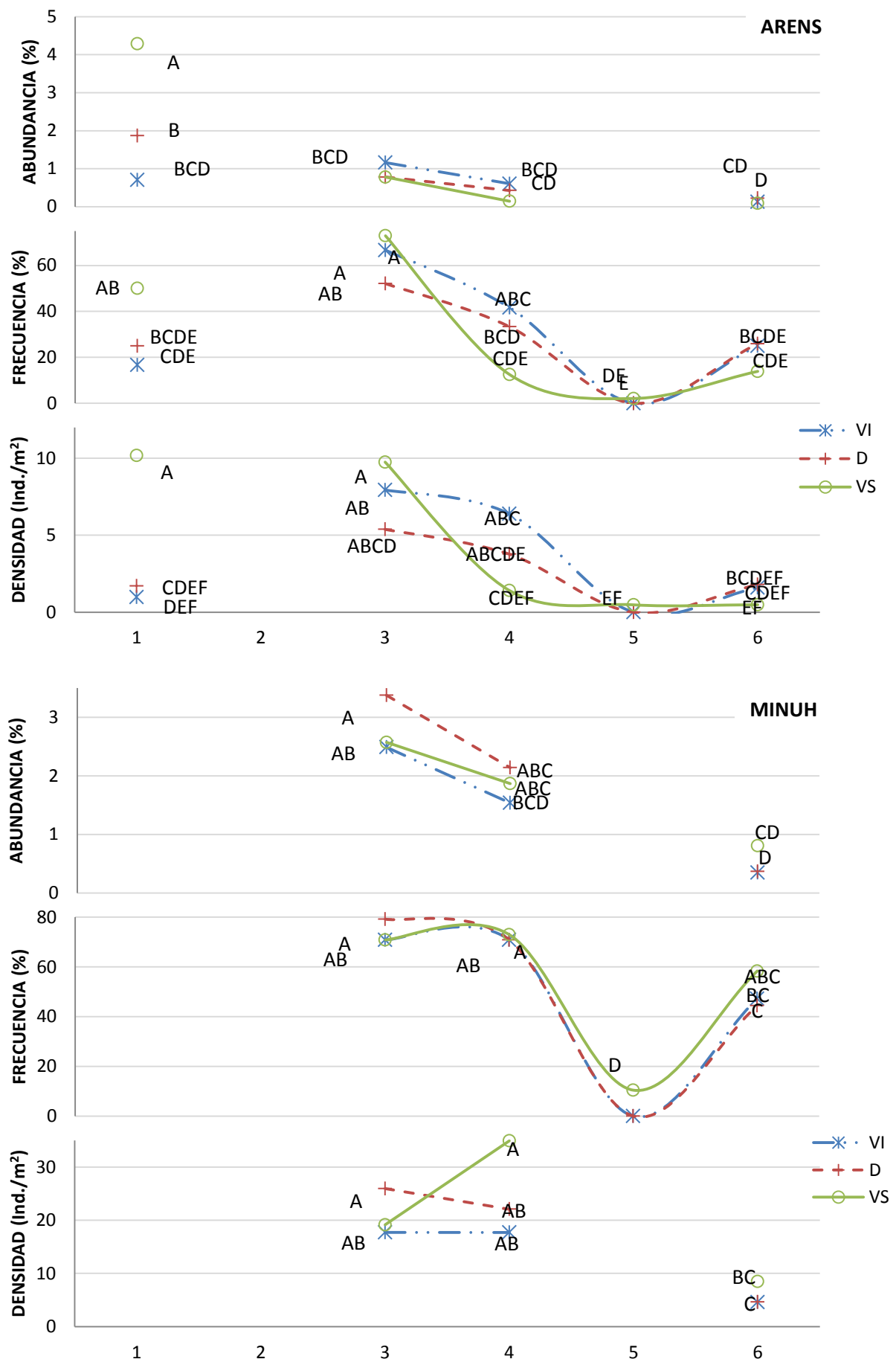


Figura 6. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Convolvuláceas

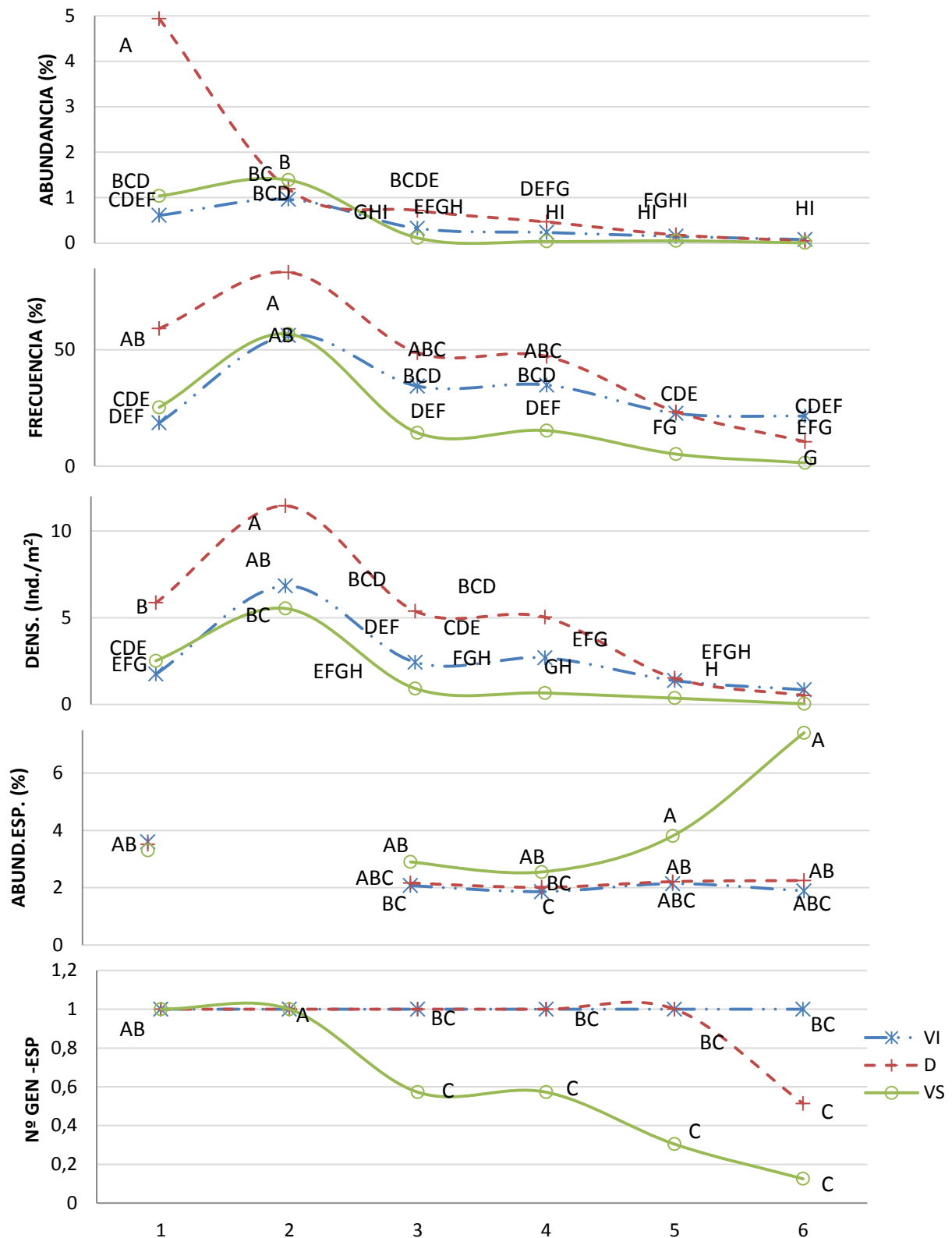


Figura 7. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Crucíferas

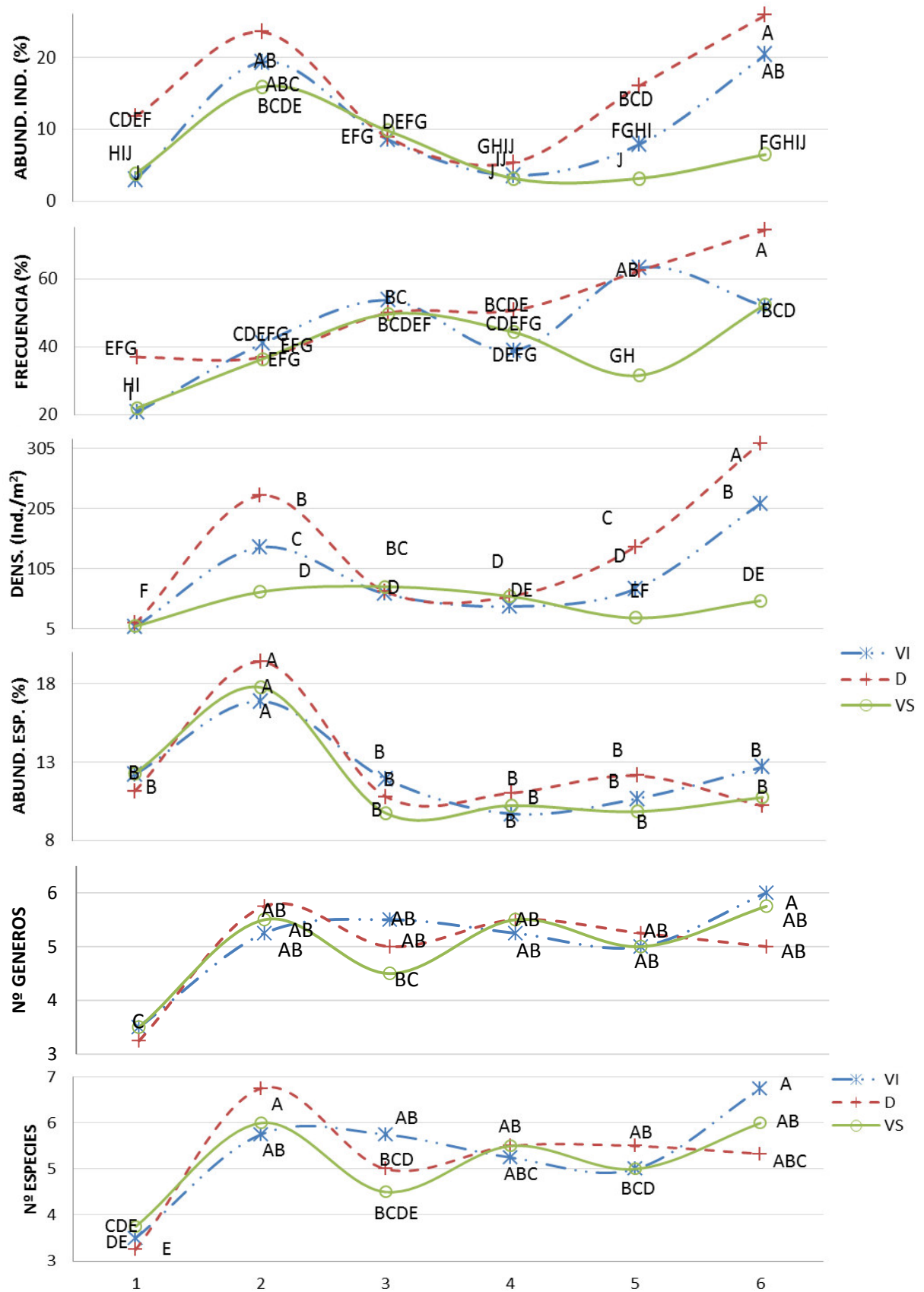
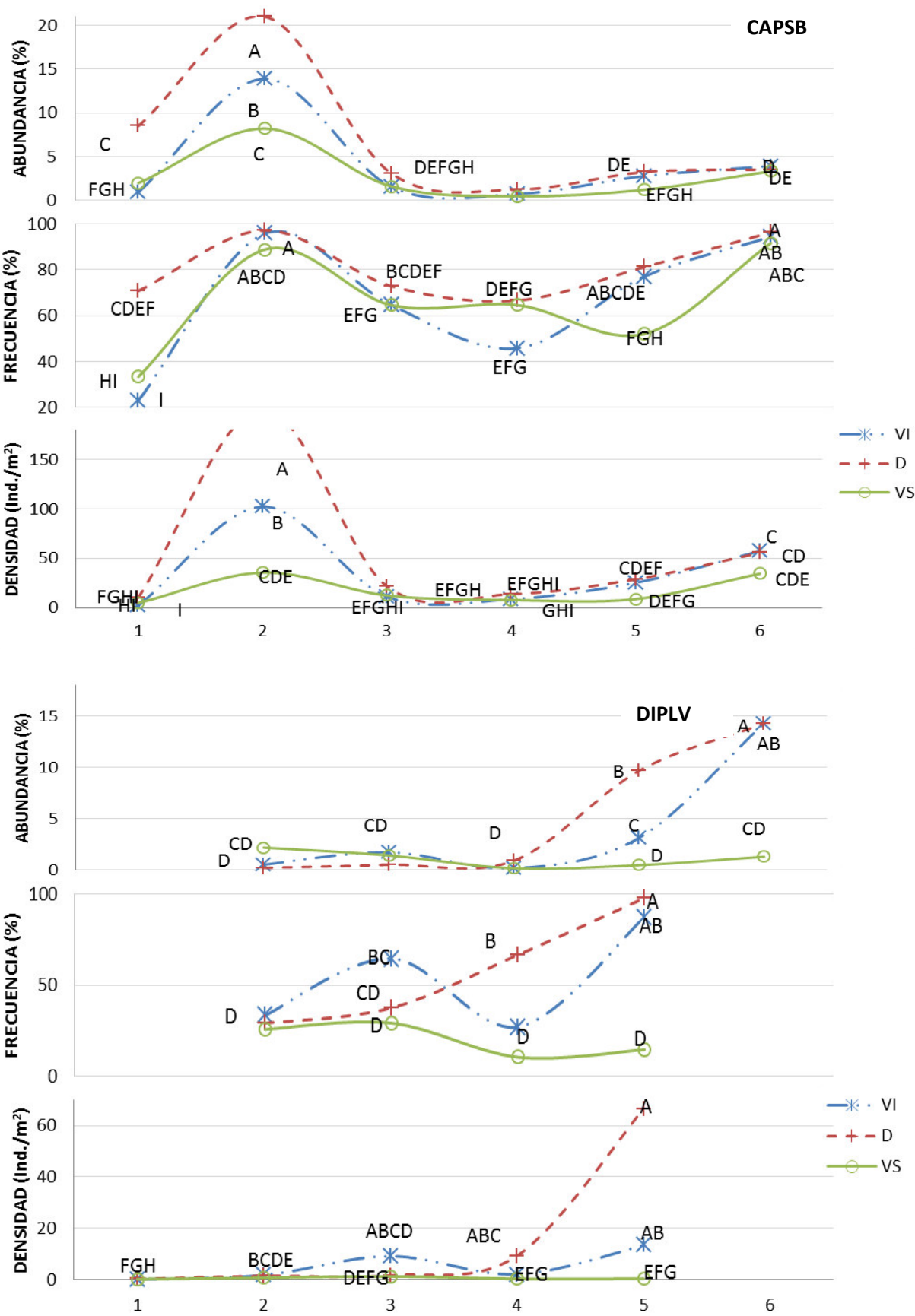


Figura 8. Evolución de los indicadores de composición para las especies de Crucíferas más importantes.



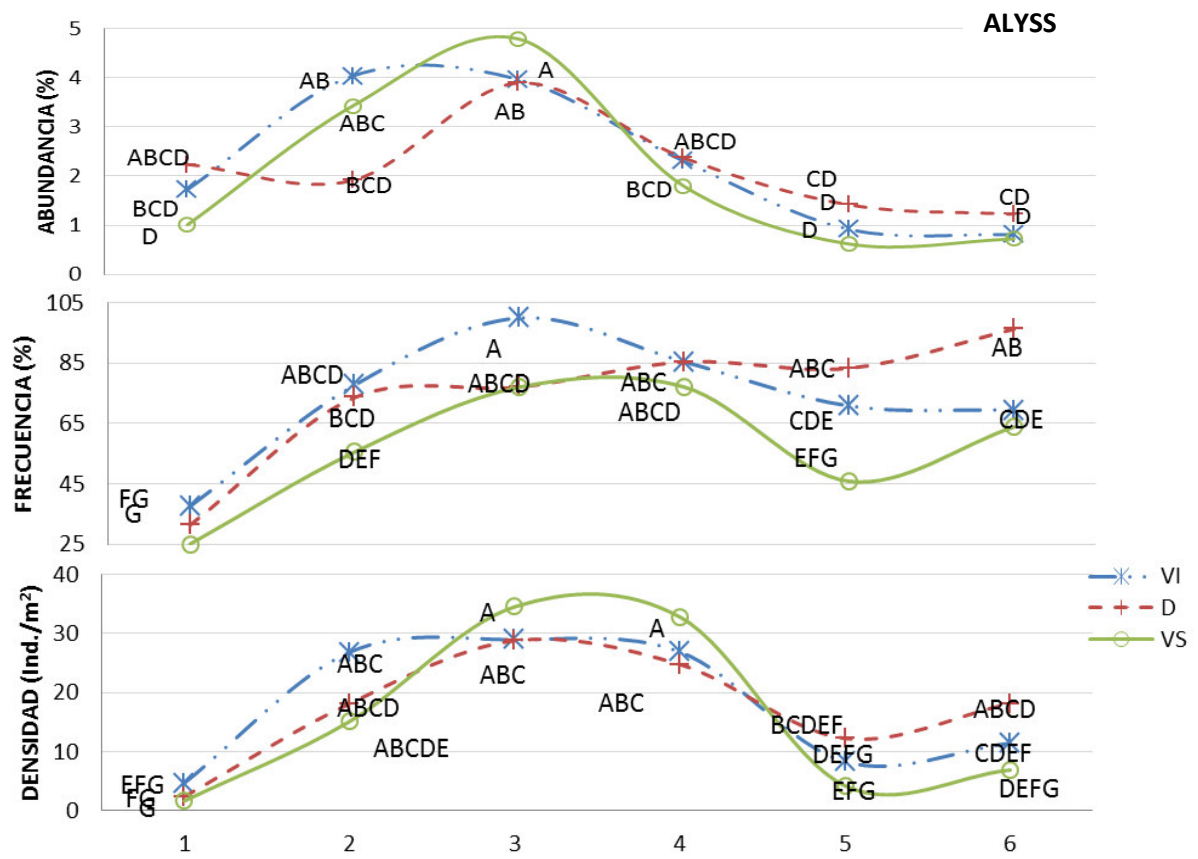


Figura 9. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Escrofulariáceas

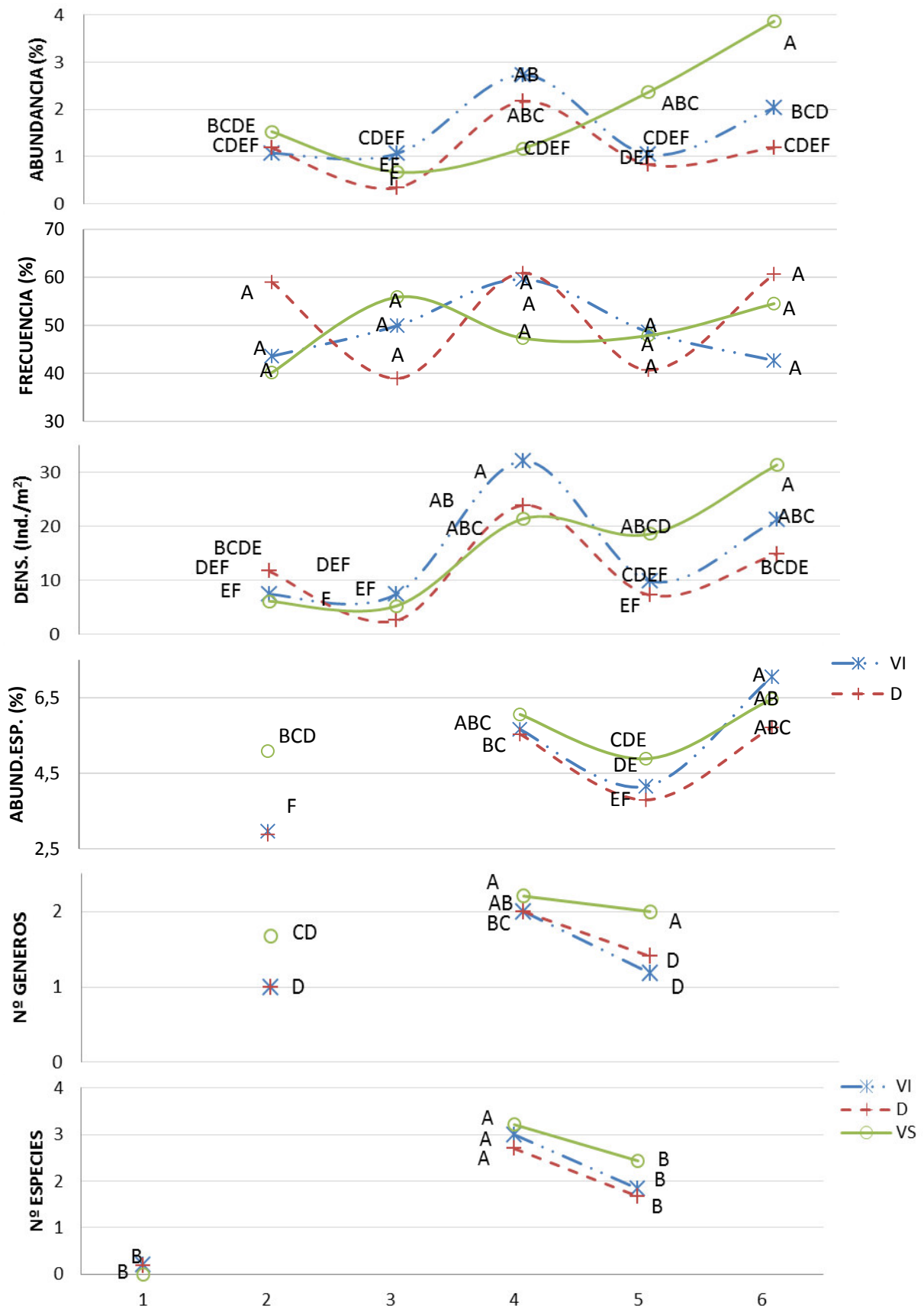


Figura 10. Evolución de los indicadores de composición para las Escrofulariáceas más importantes

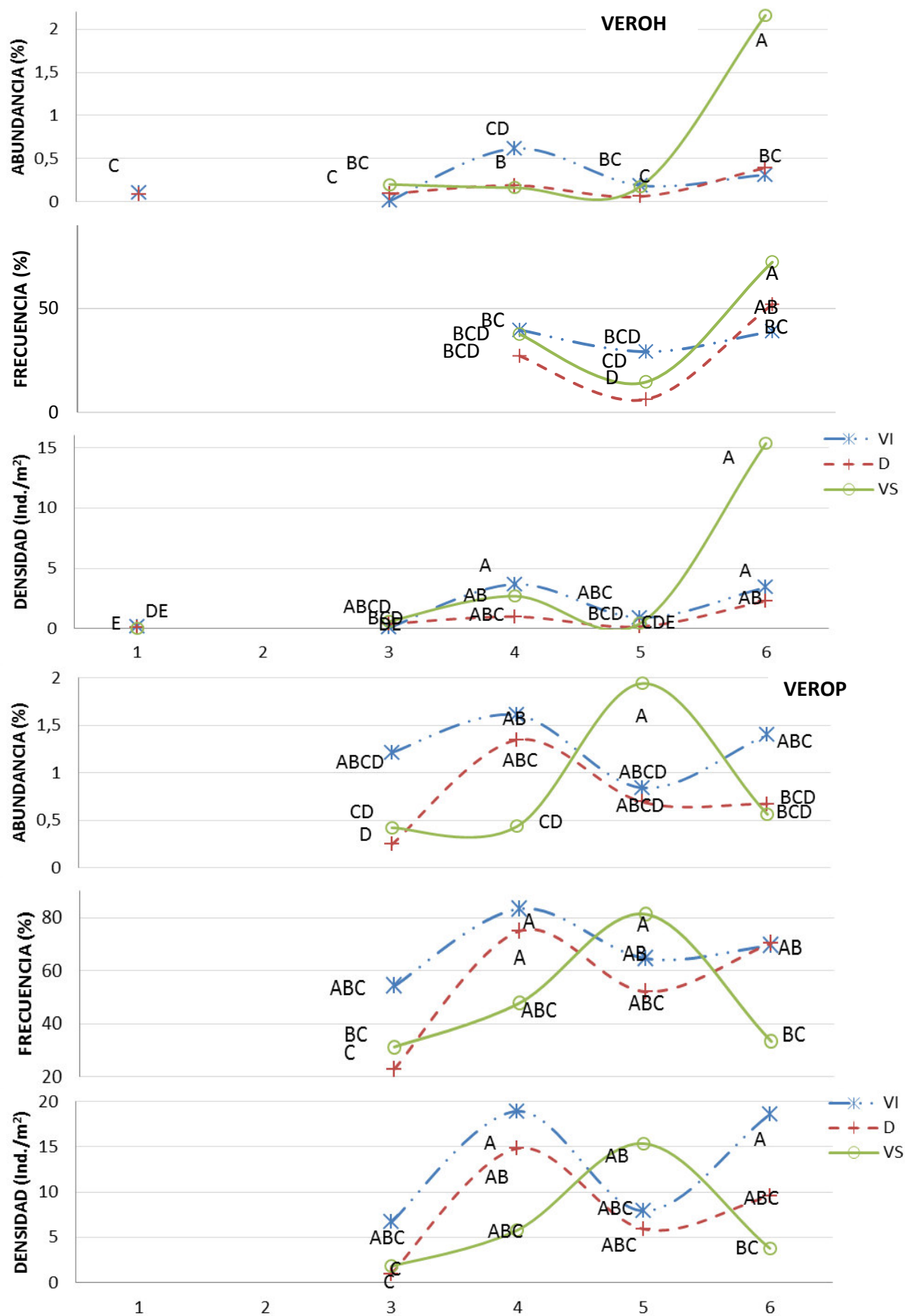


Figura 11. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Fumariáceas

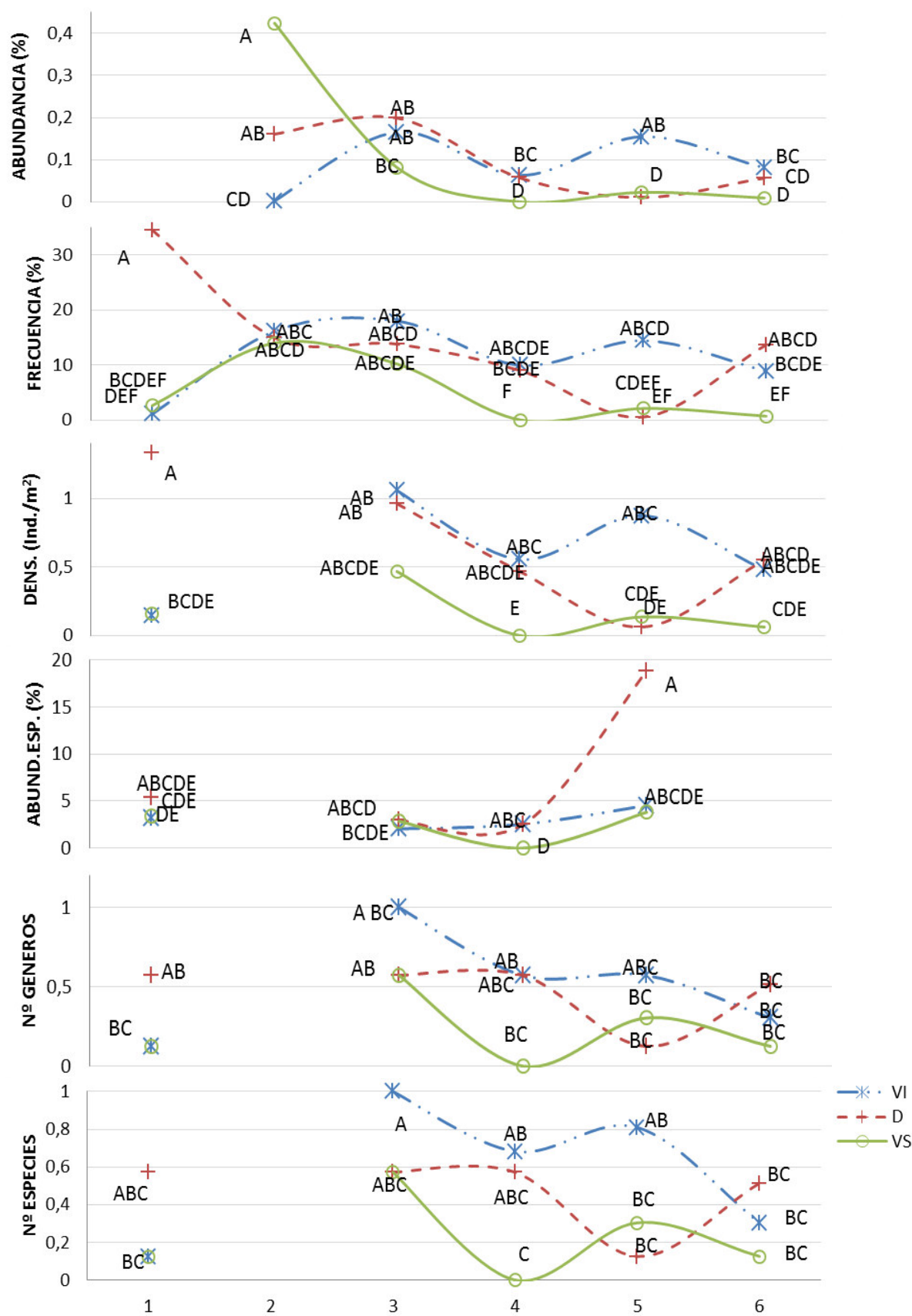


Figura 12. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Geraniáceas

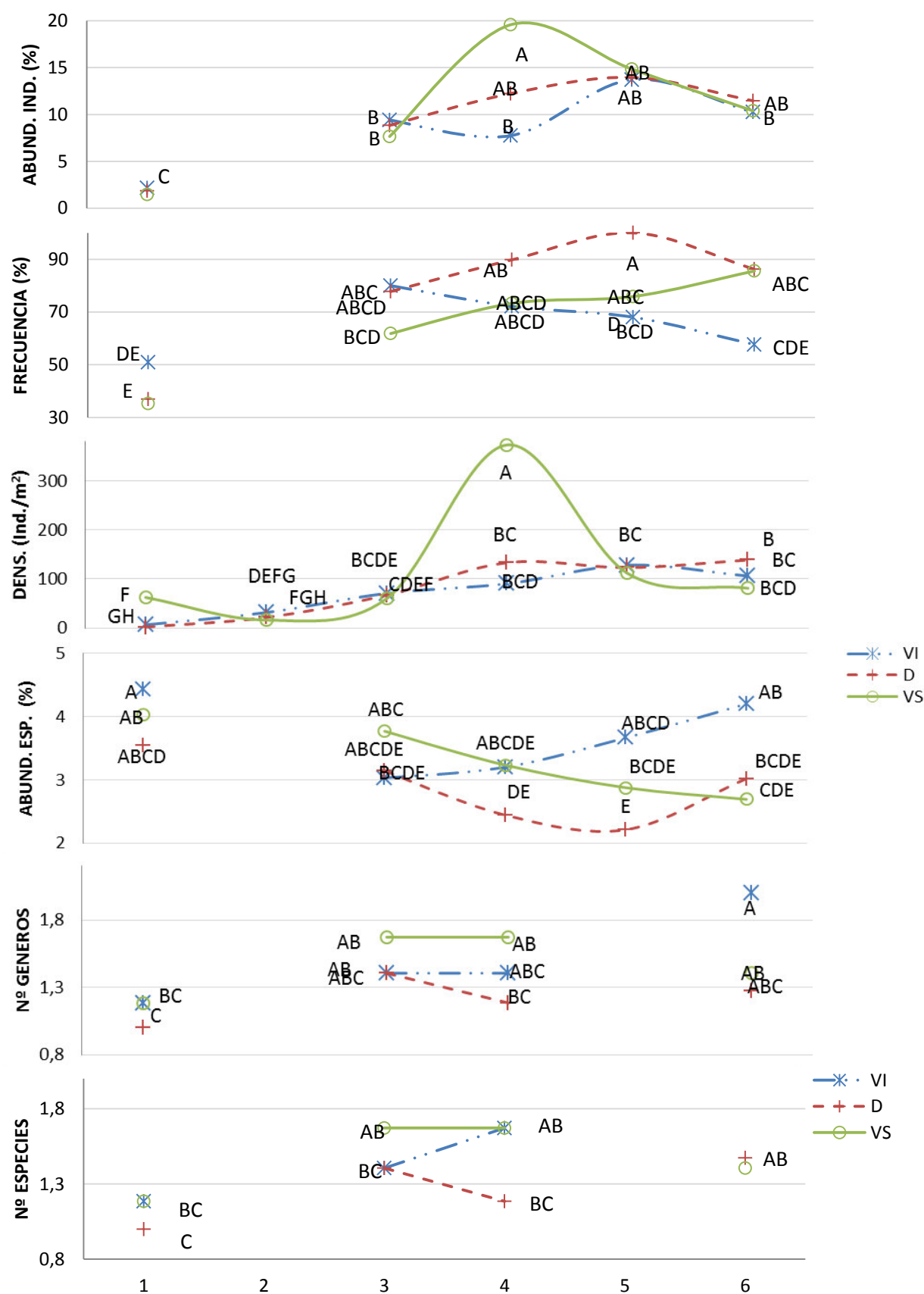


Figura 13. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Gramíneas

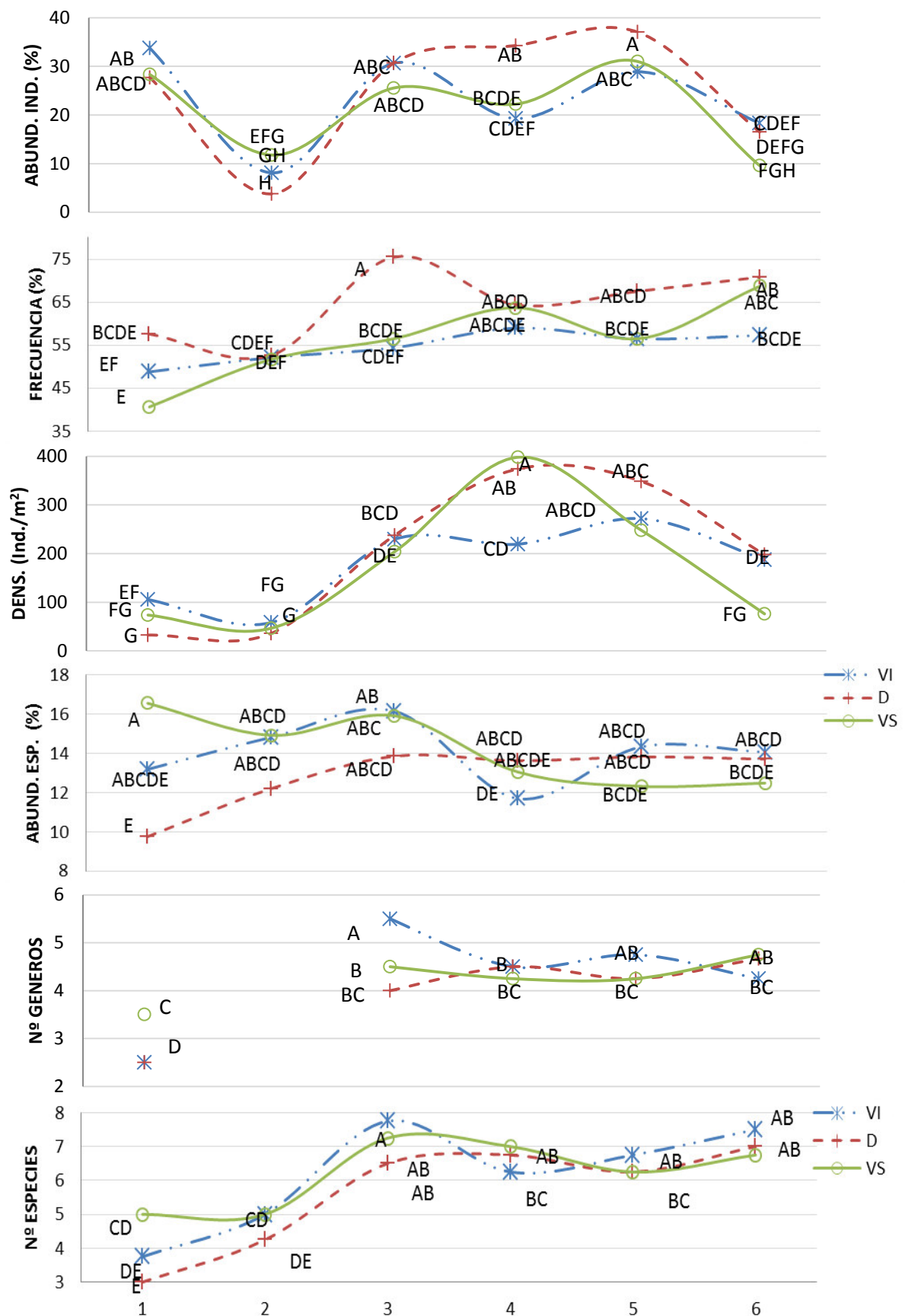
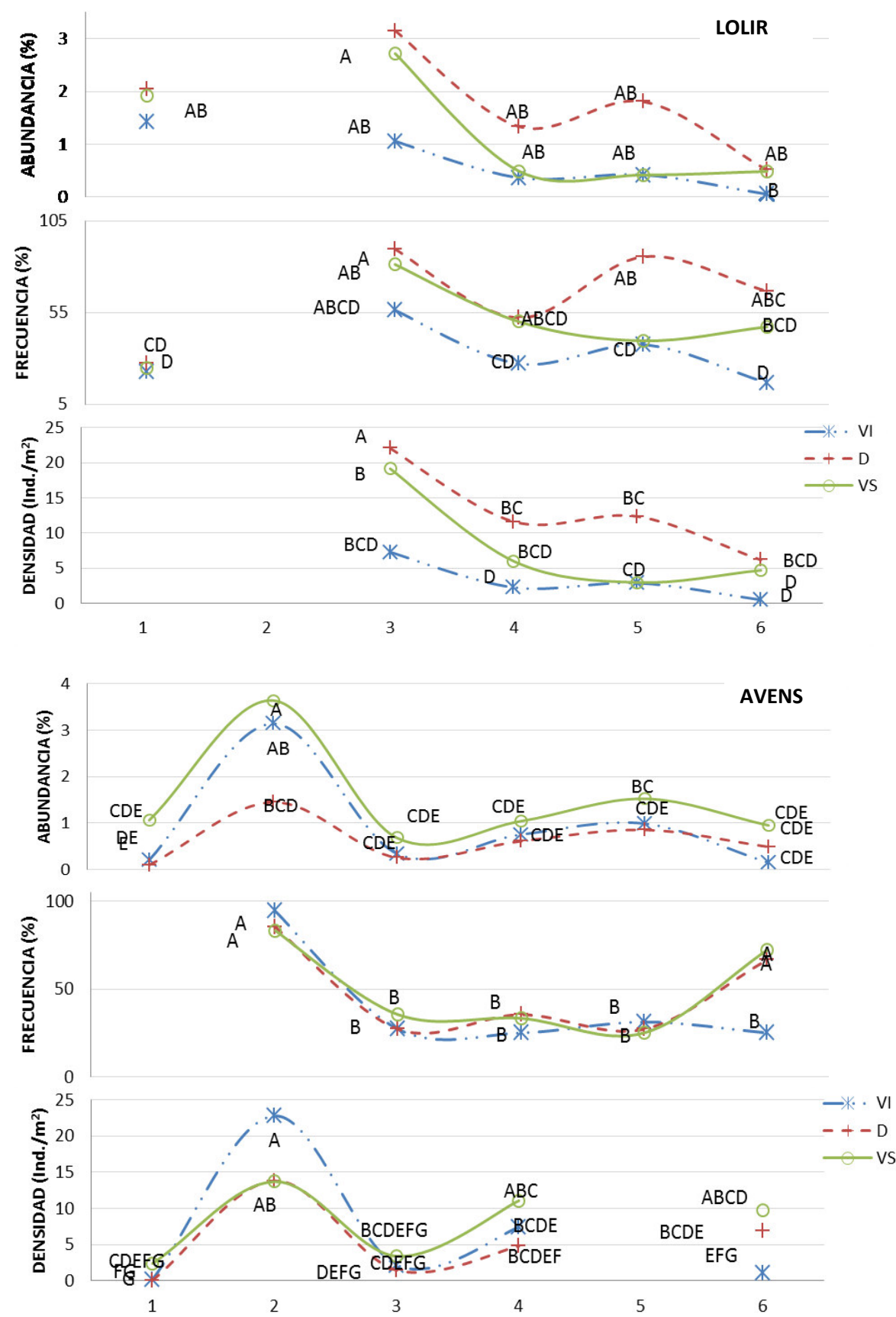
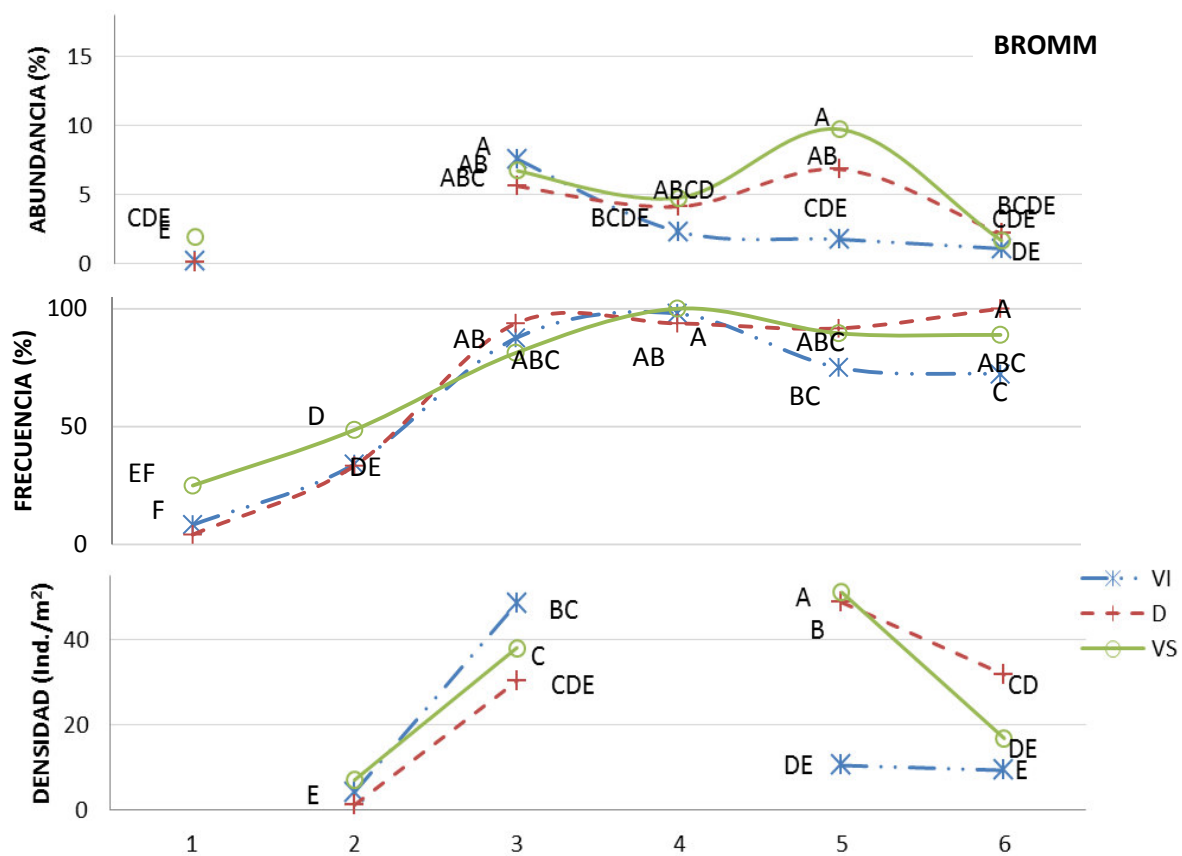
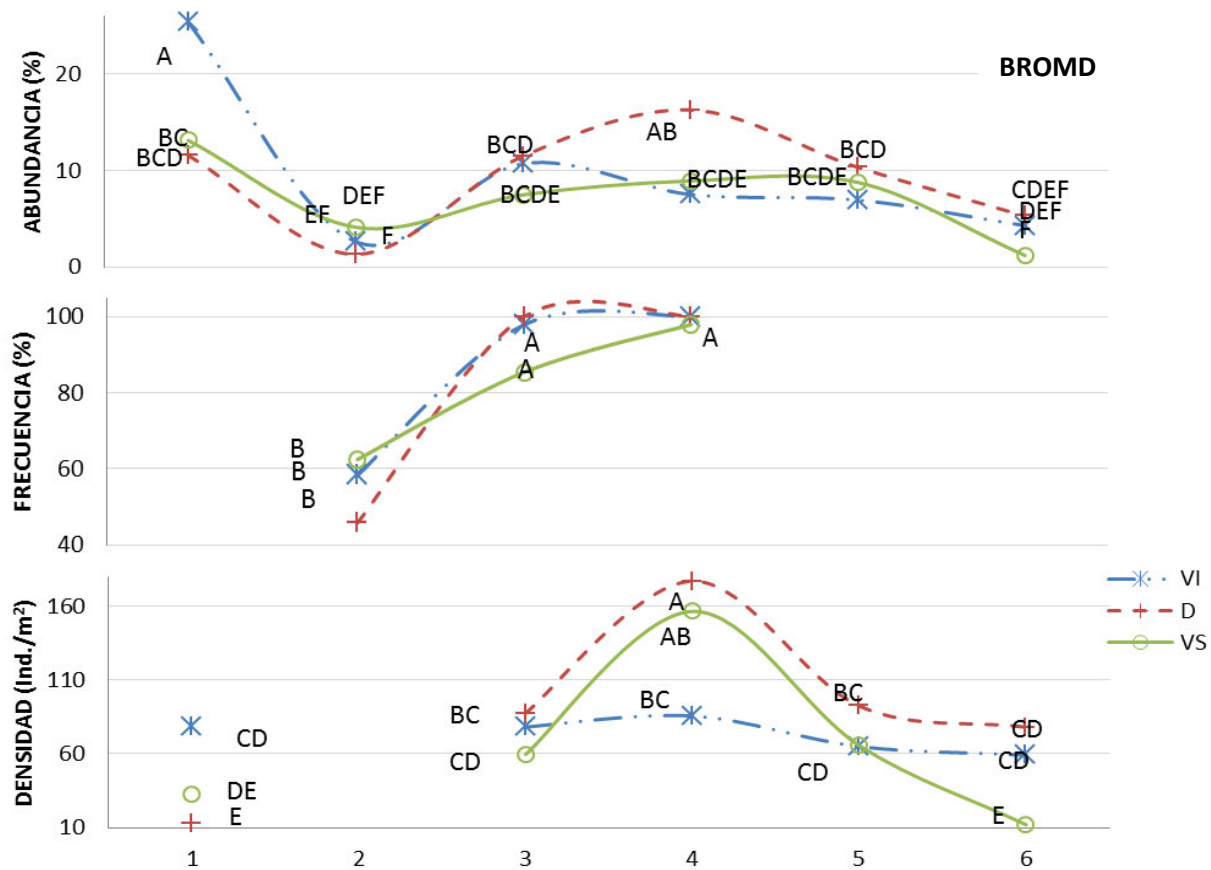


Figura 14. Evolución de los indicadores de composición para las especies de Gramíneas más importantes.





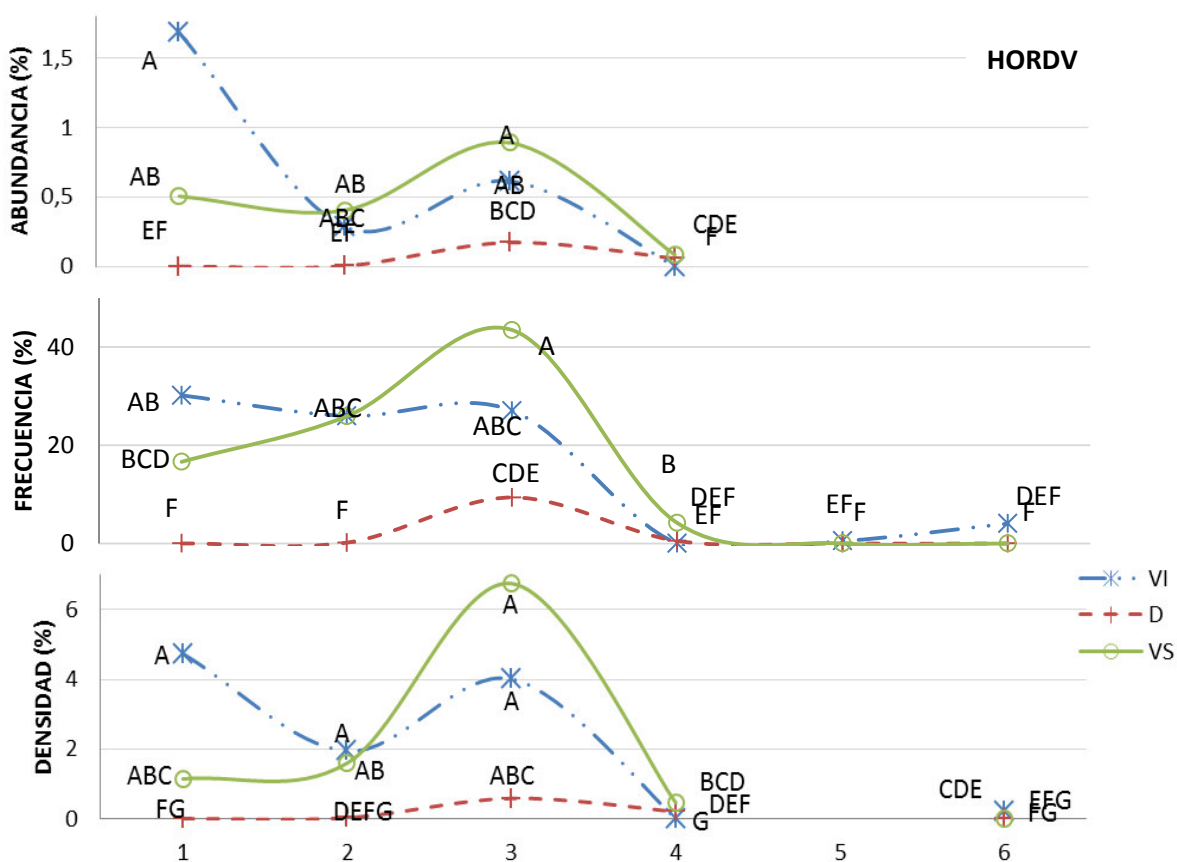
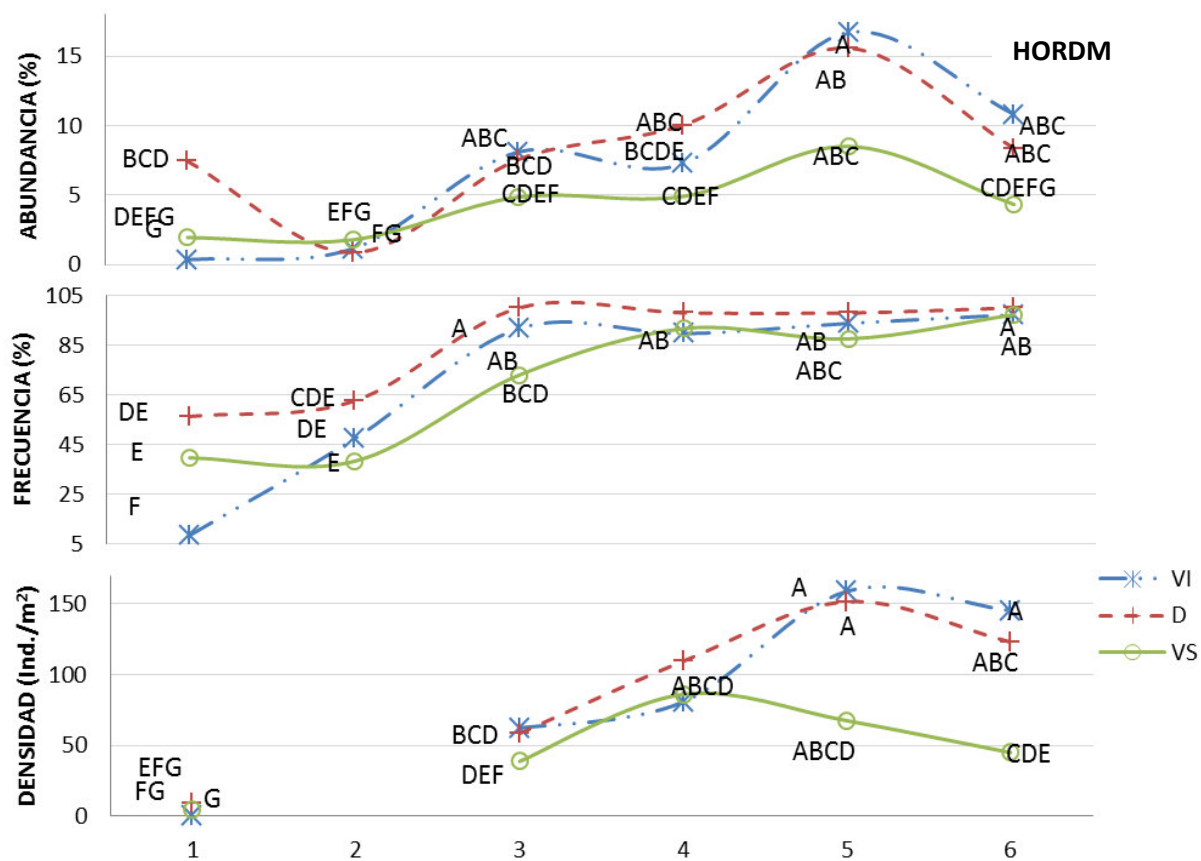


Figura 15. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Lamiáceas

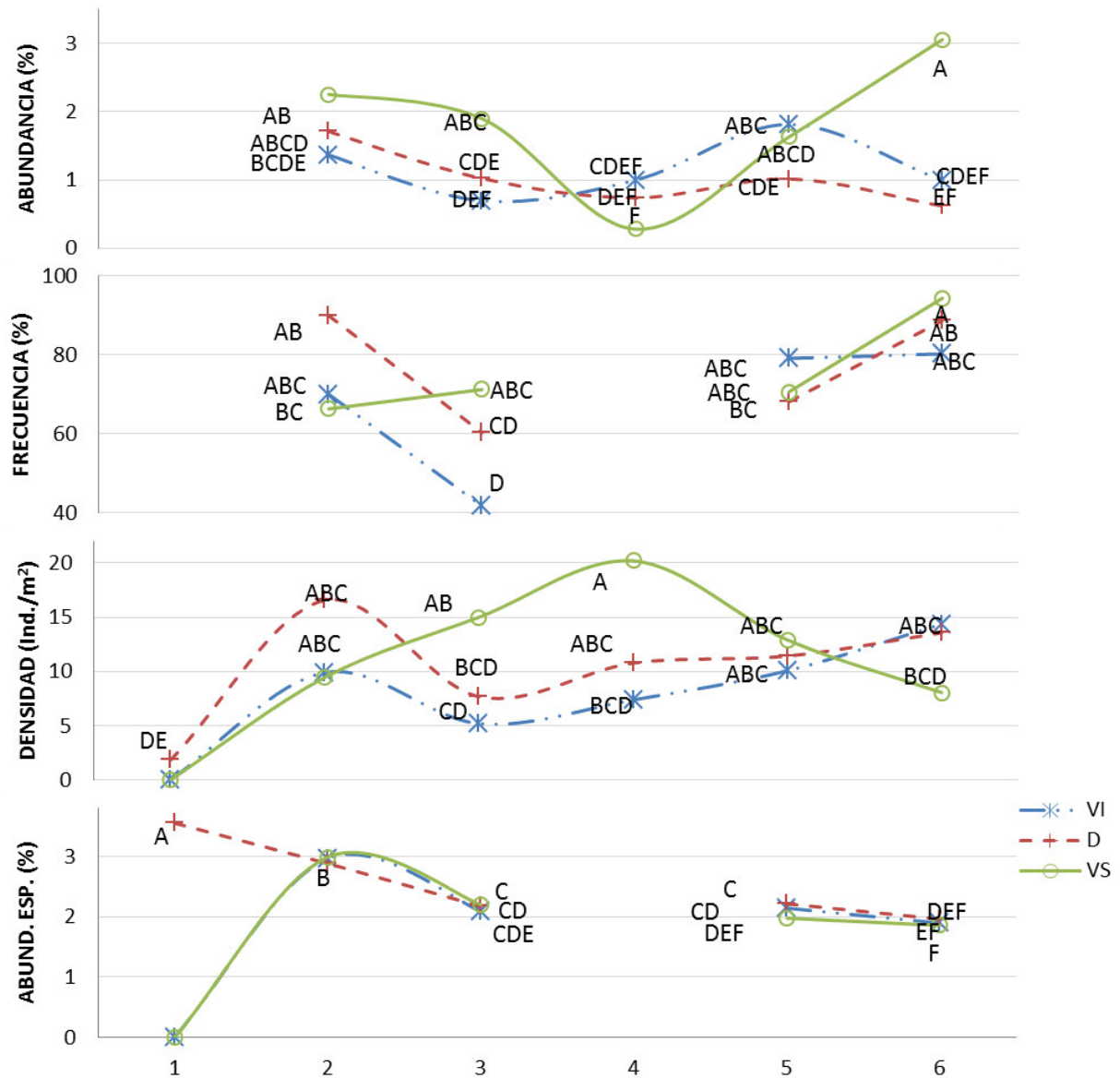


Figura 16. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Leguminosas

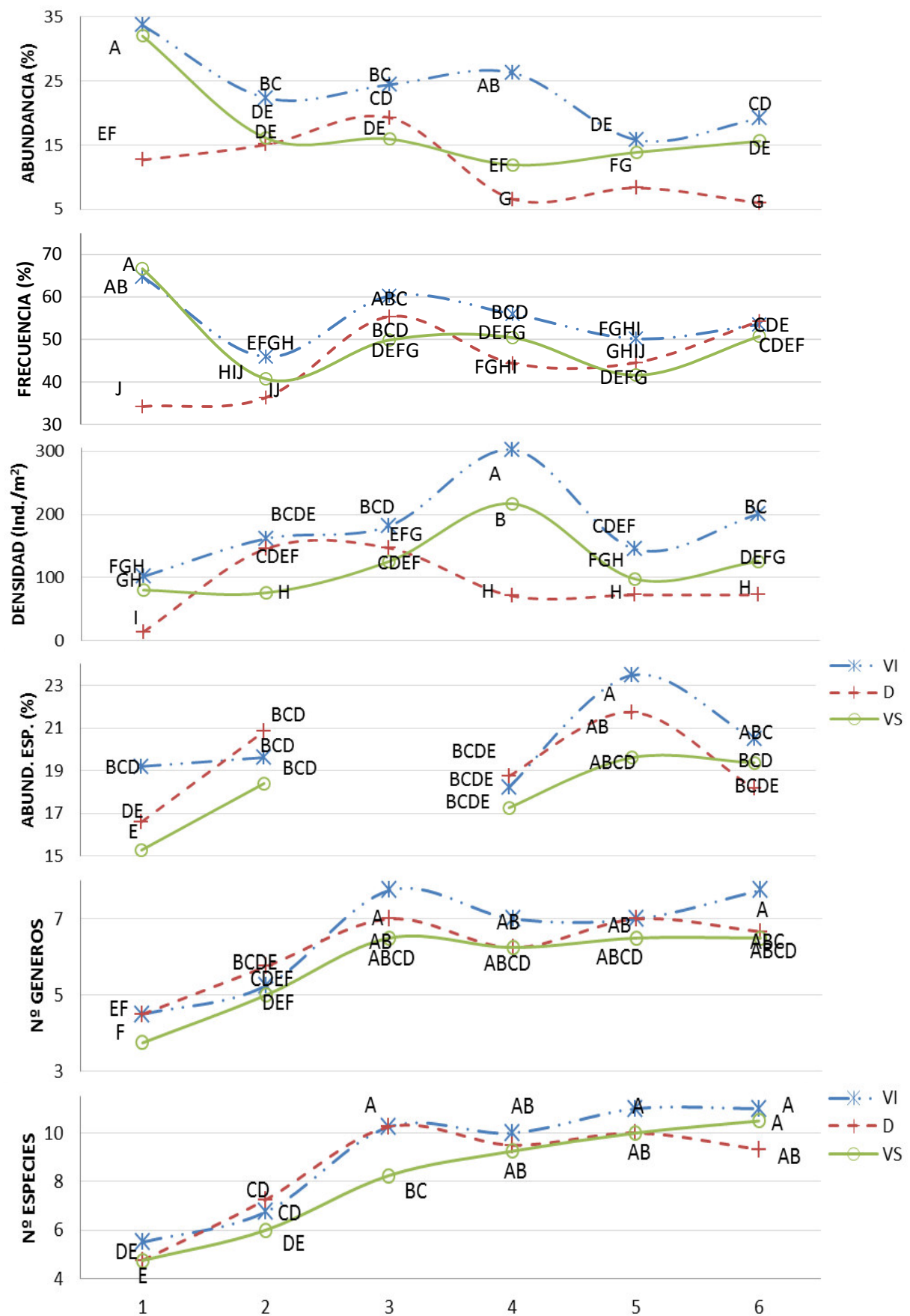


Figura 17. Evolución de los indicadores de composición para las Leguminosas silvestres

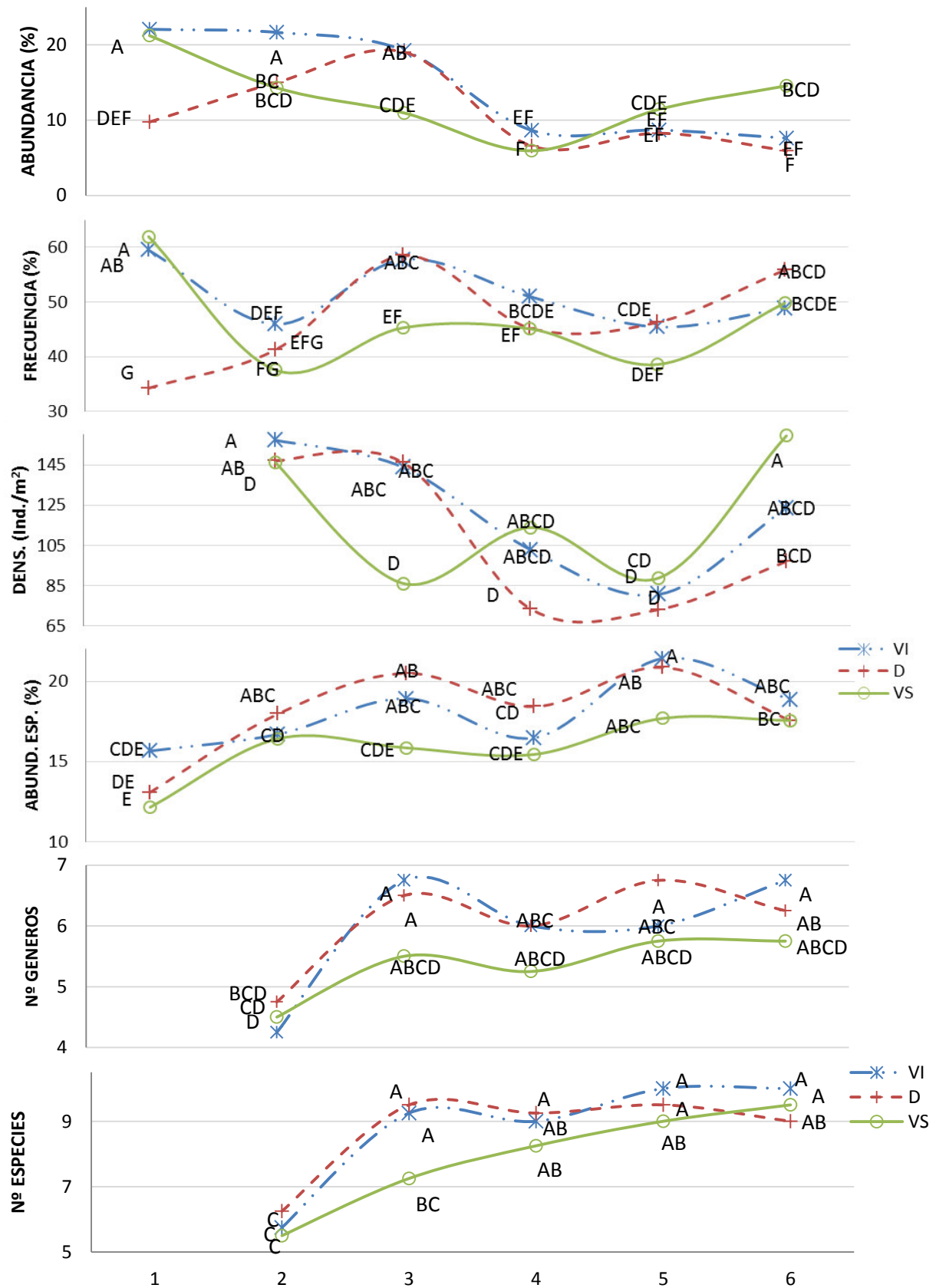
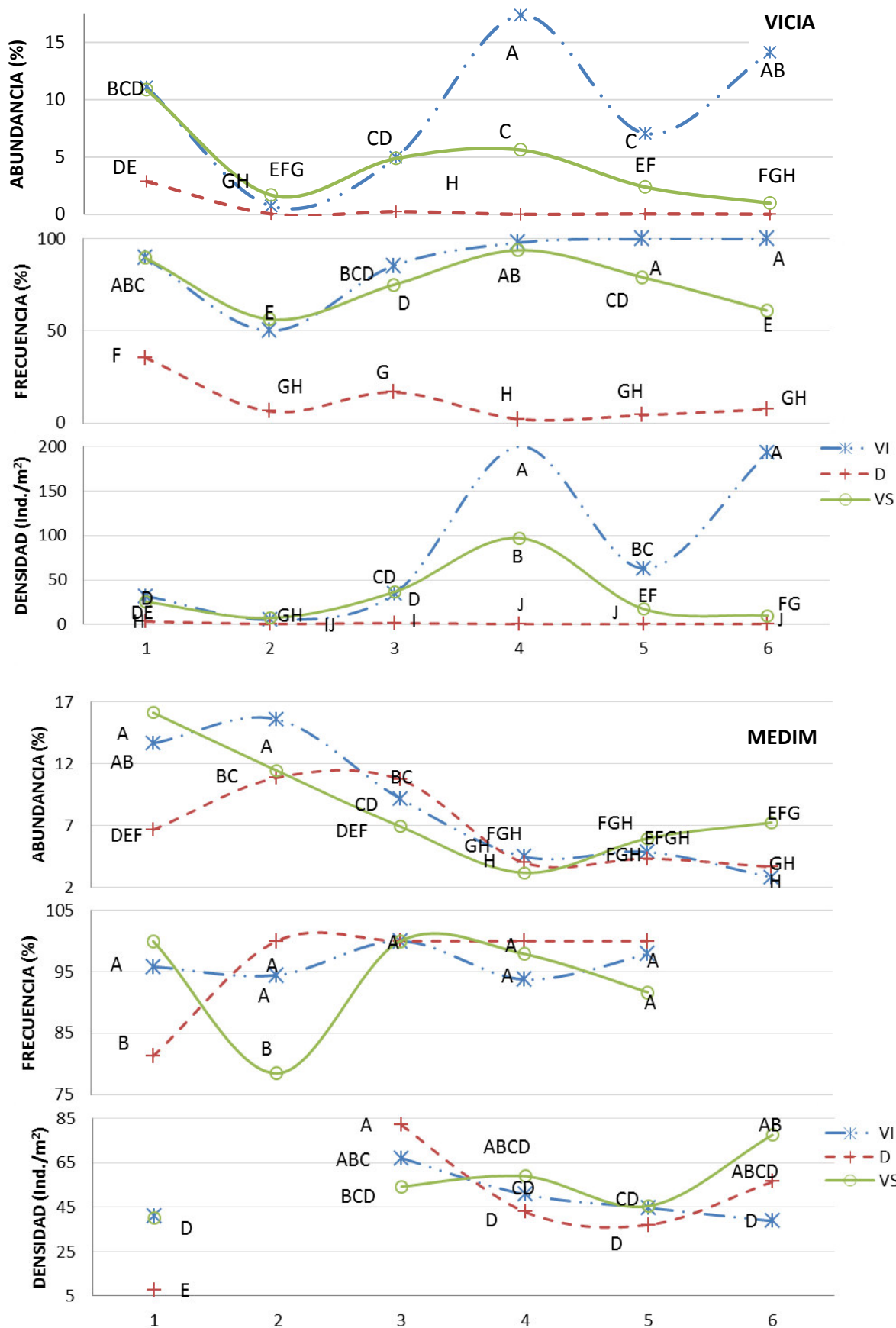
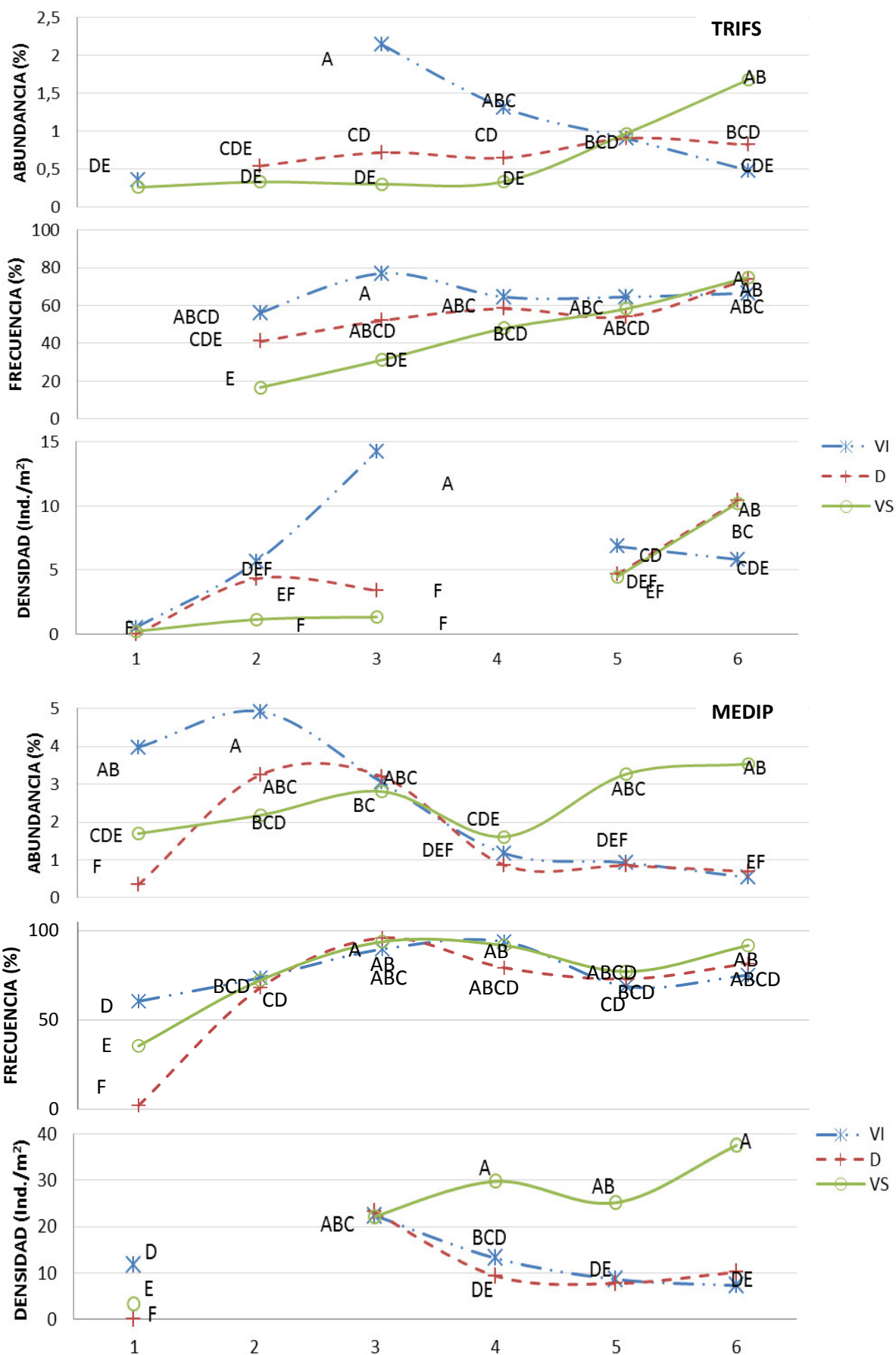


Figura 18. Evolución de los indicadores de composición de las especies de Leguminosas silvestres más importantes.





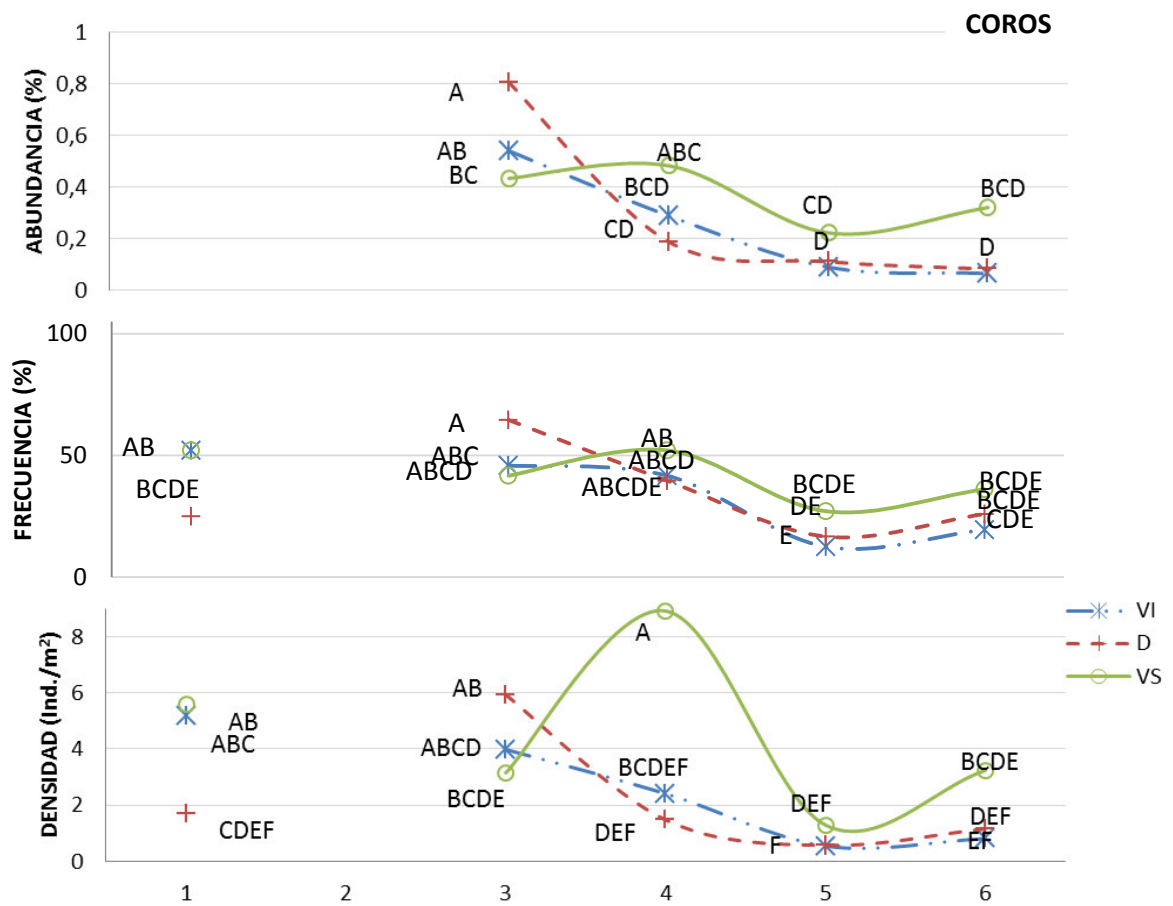


Figura 19. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Papaveráceas

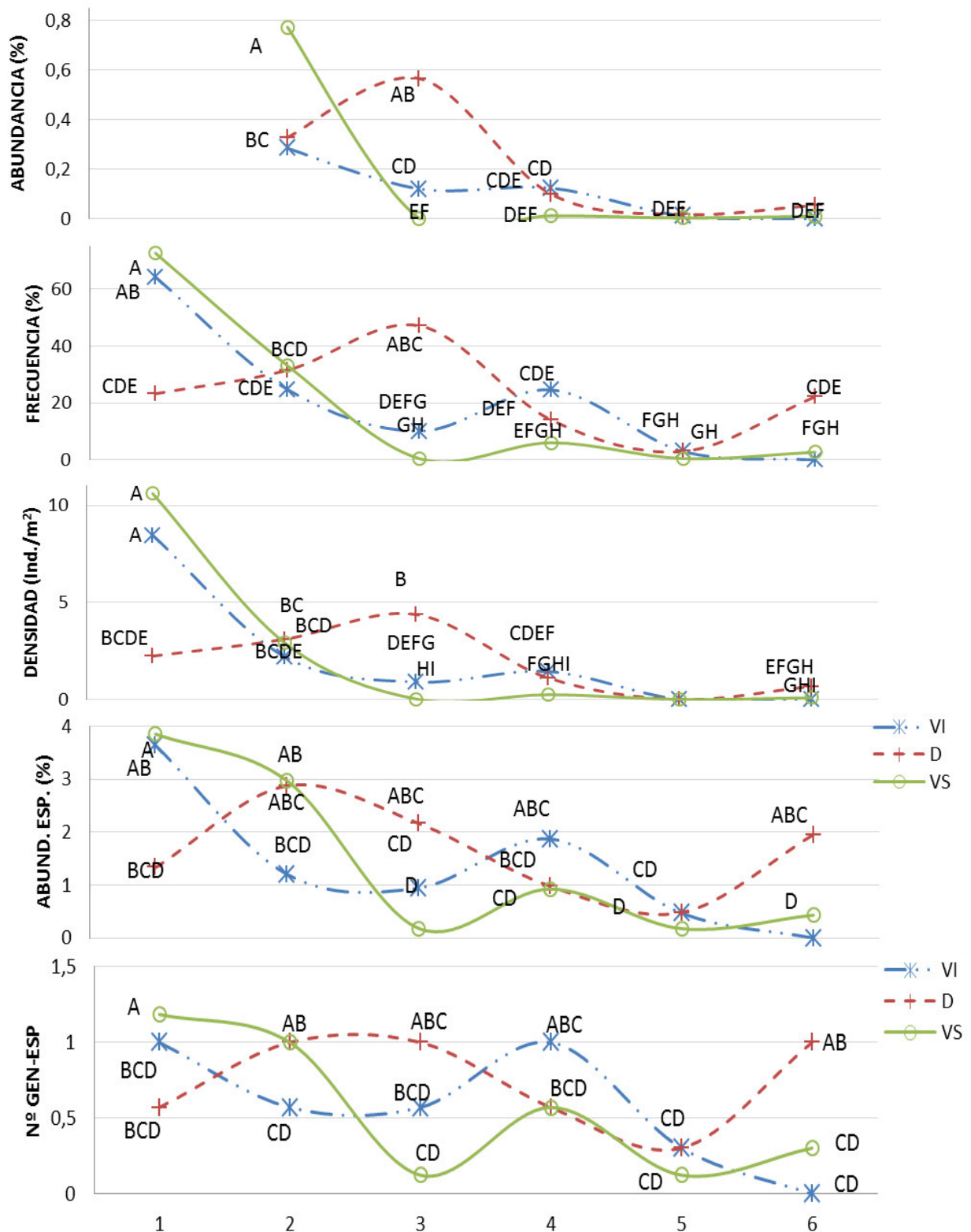


Figura 20. Evolución de los indicadores de composición para la familia de las Rubiáceas

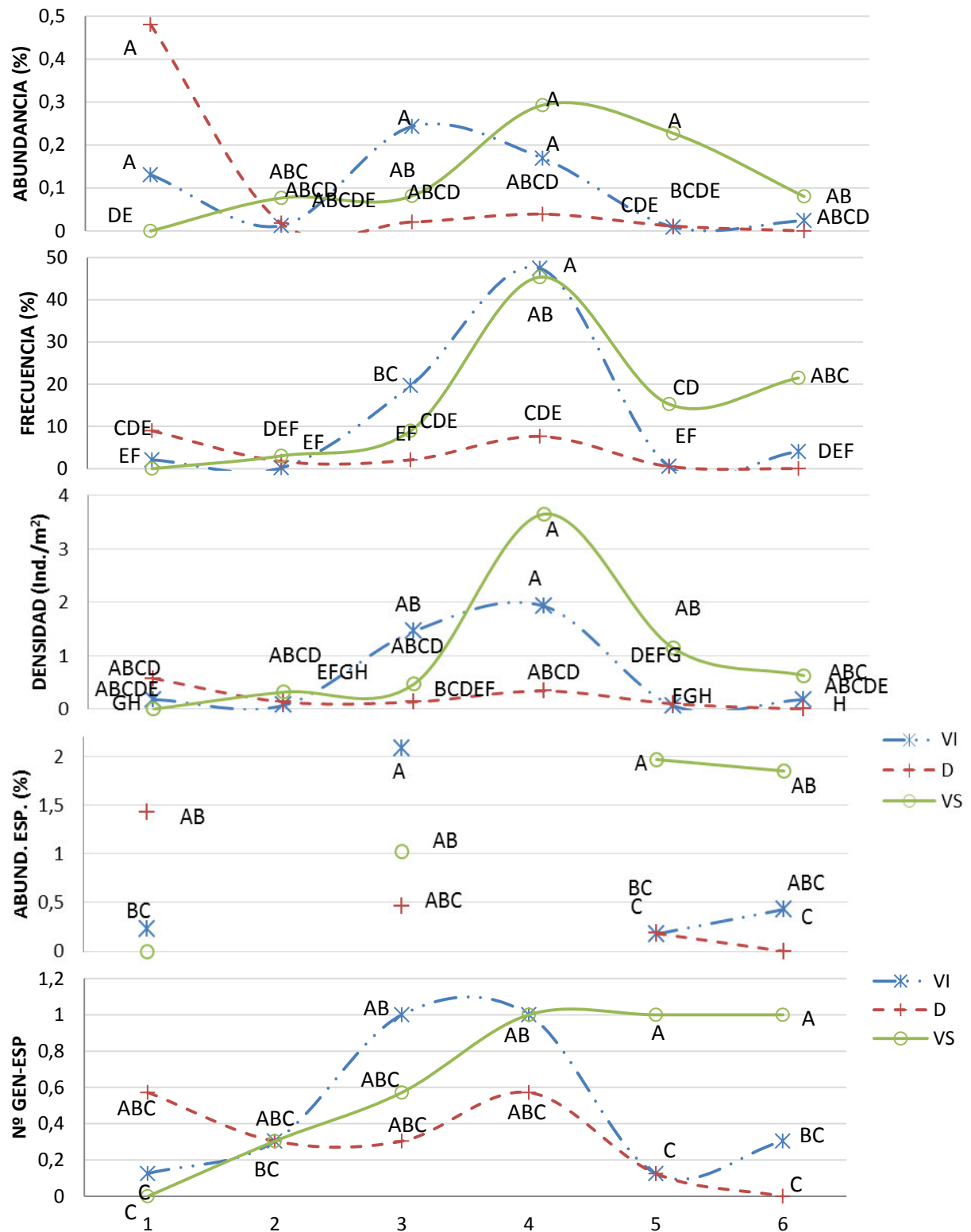


Figura 21. Evolución de los indicadores de composición para los Terófitos cespitosos

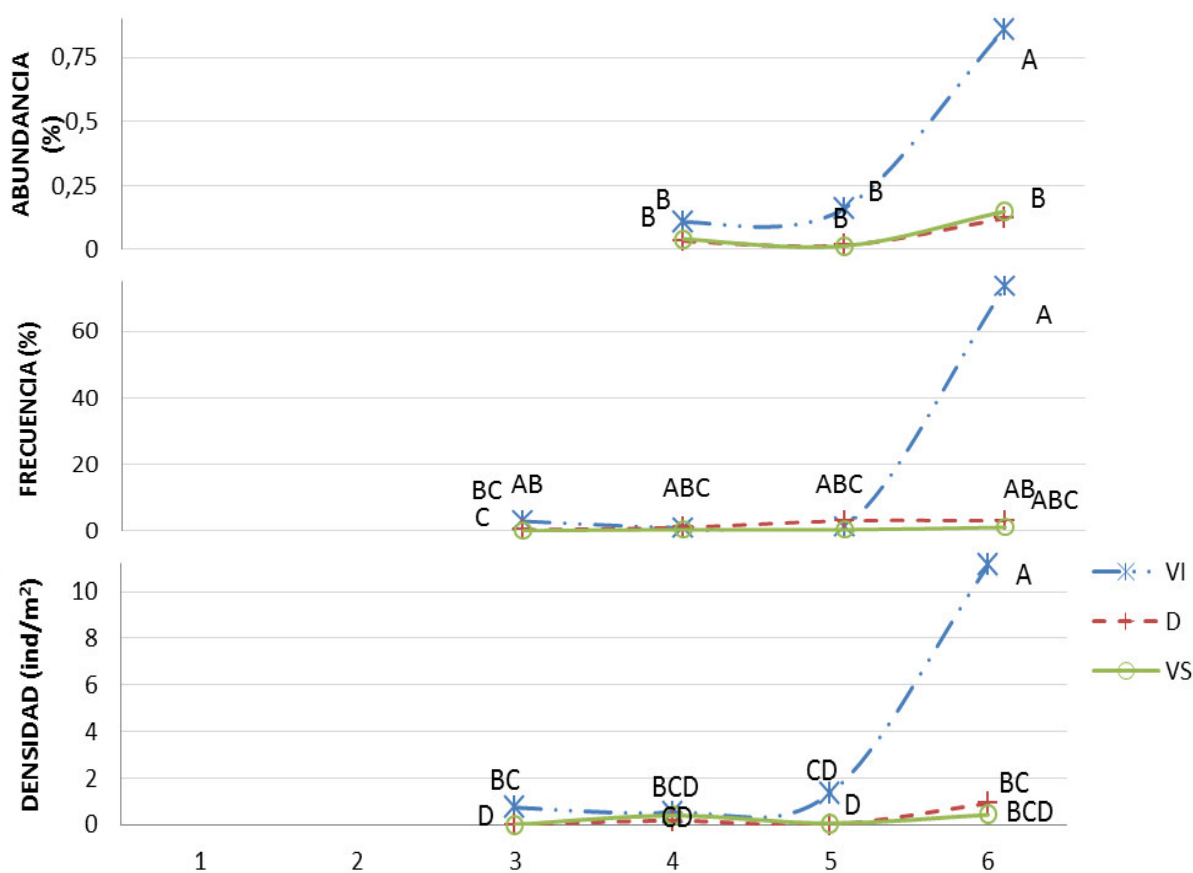
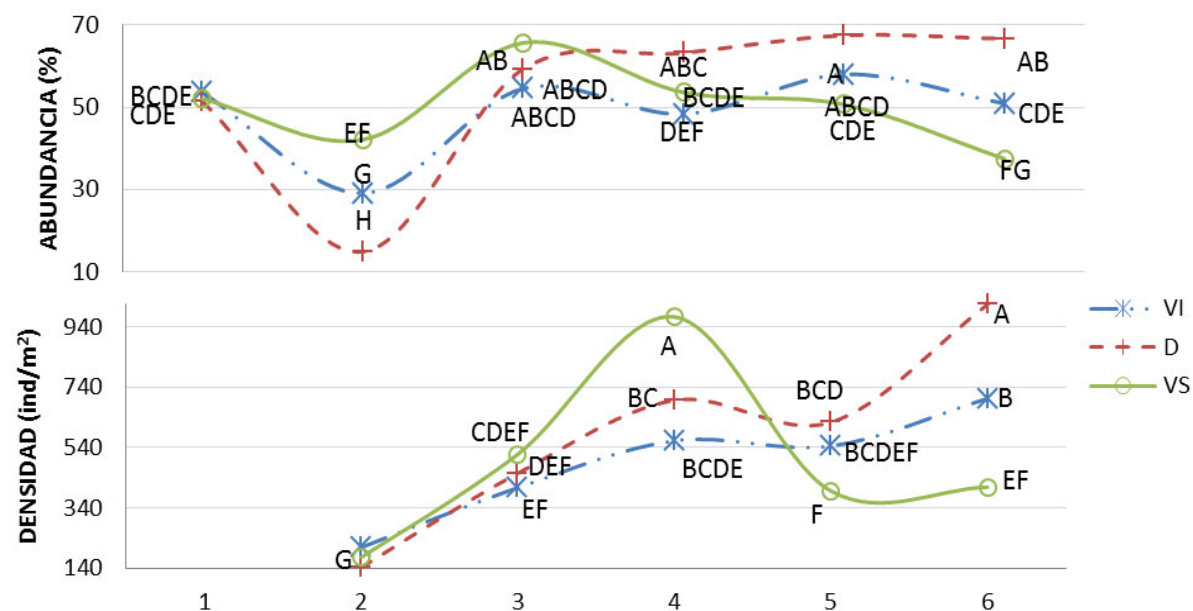
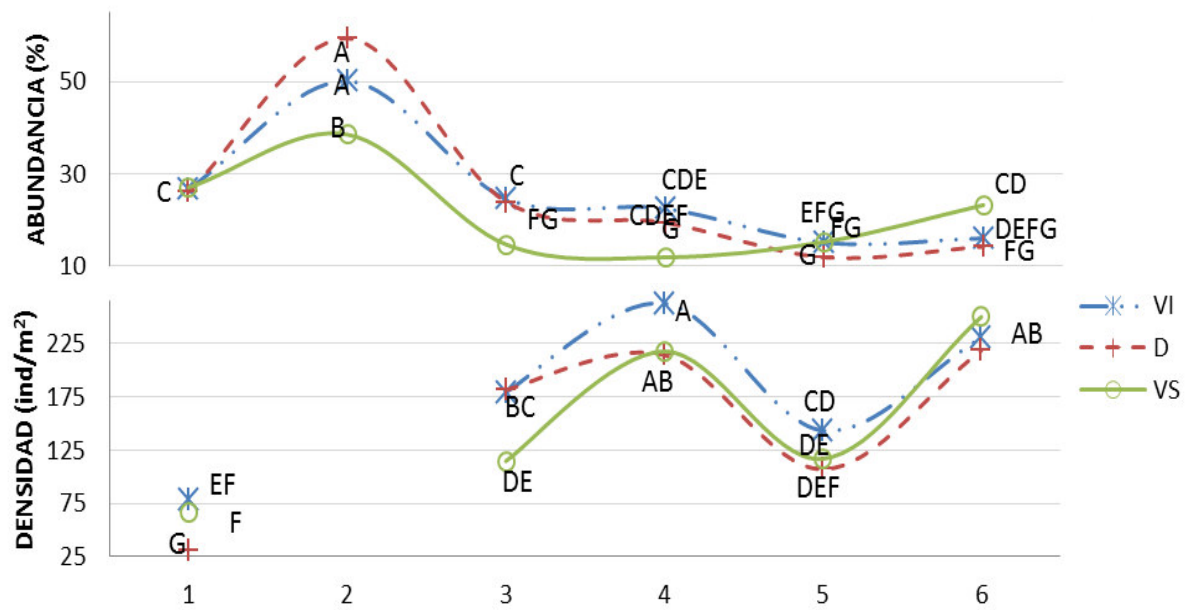


Figura 22. Evolución de los indicadores de composición para los Terófitos erectos



La Frecuencia relativa de aparición de T.E, se mantiene constante con un valor del 100% desde el año 1 al año 6 en todos los tratamientos

Figura 23. Evolución de los indicadores de composición para los Terófitos rastreros



La Frecuencia relativa de aparición de T.E, se mantiene constante con un valor del 100% desde el año 1 al año 6

Figura 24. Evolución de los indicadores de composición para los Terófitos rosulados

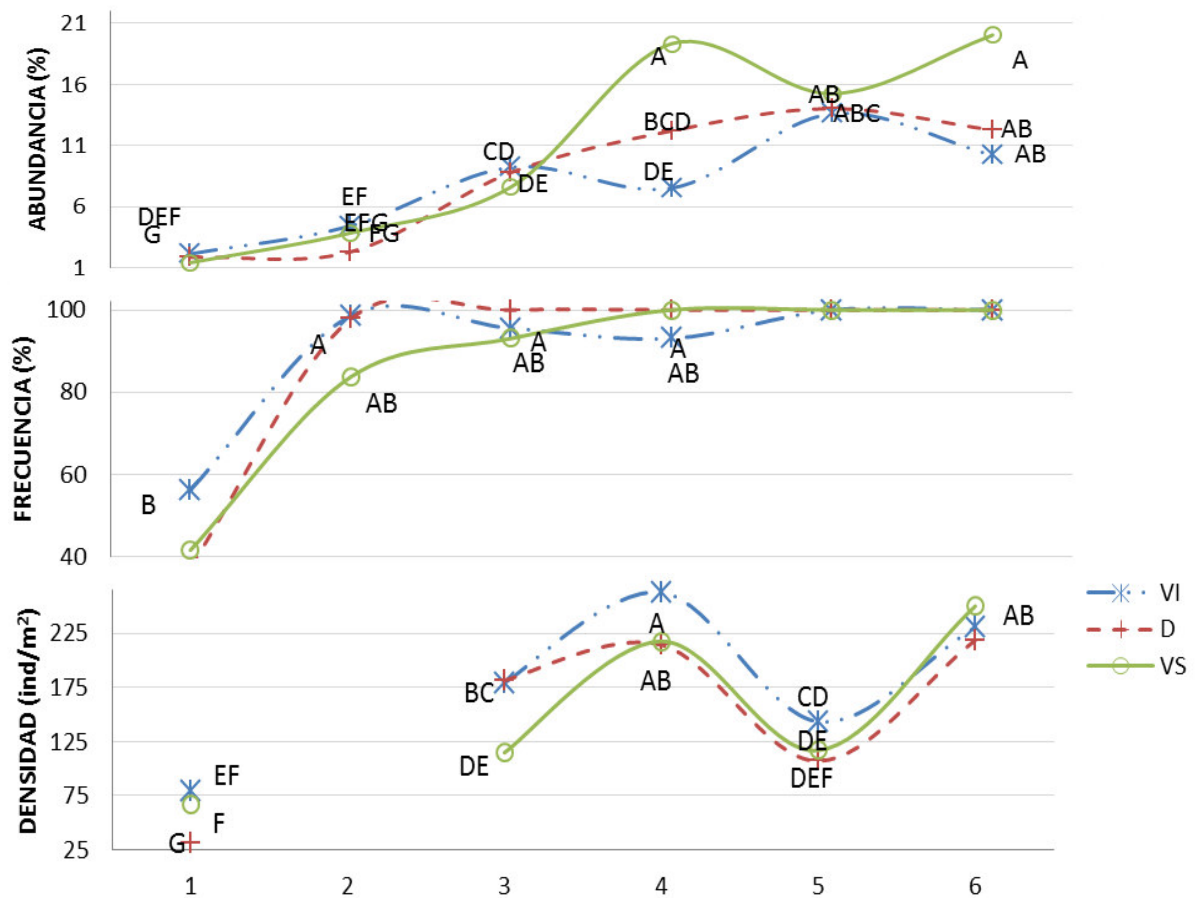


Figura 25. Evolución de los indicadores de composición para los Terófitos trepadores

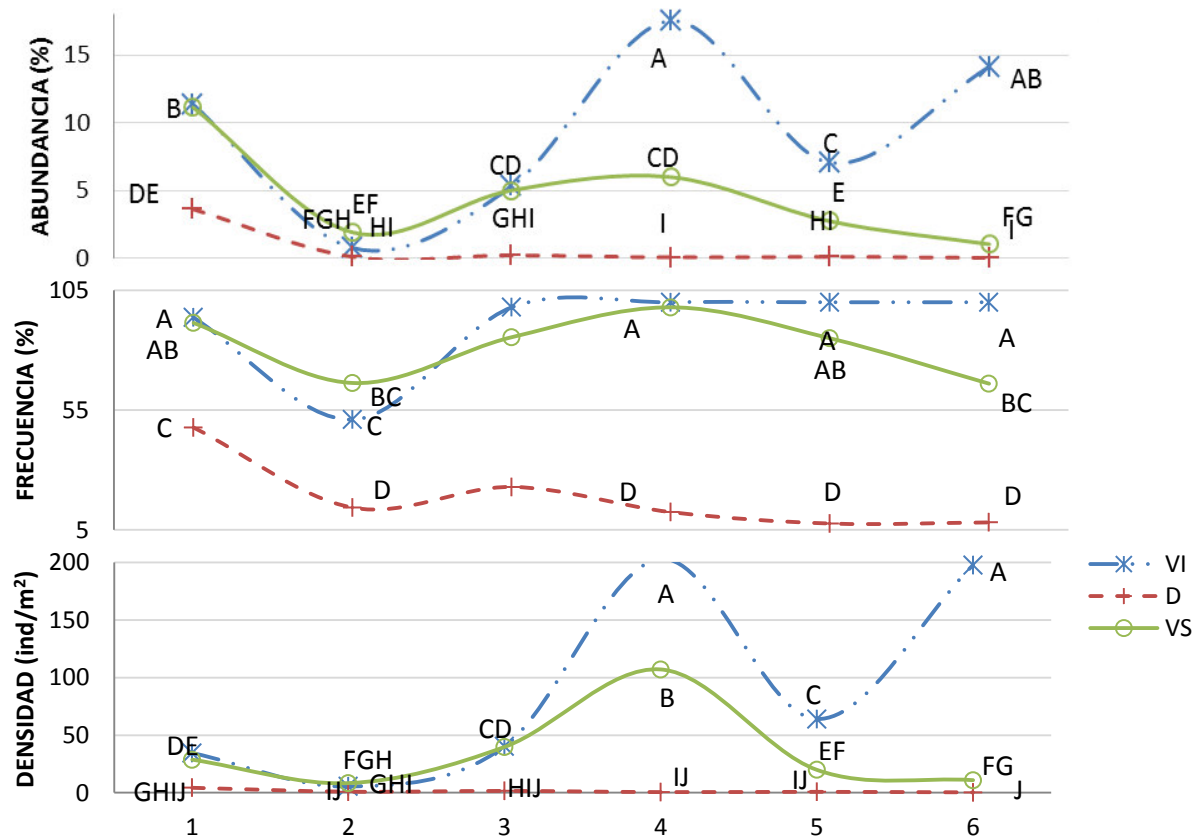


Figura 26. Evolución de los indicadores de composición, Terófitos/hemicriptófitos cespitosos

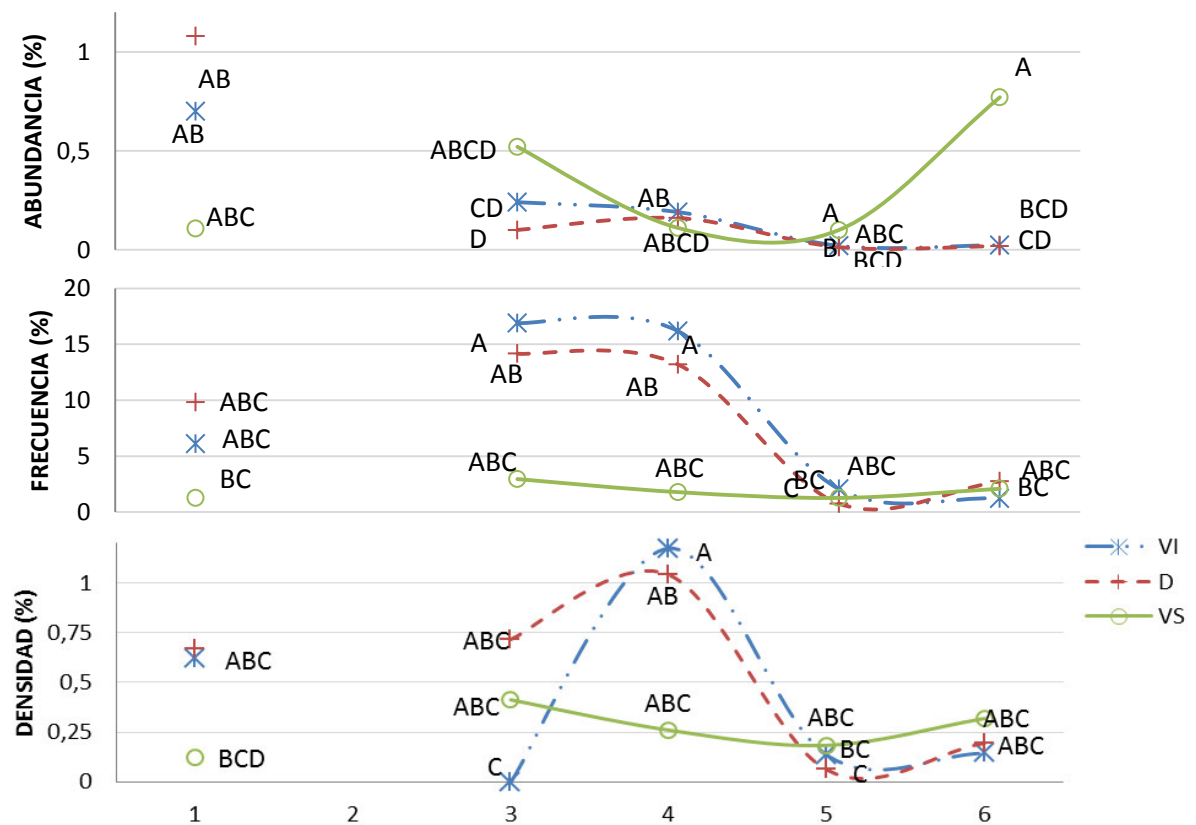


Figura 27. Evolución de los indicadores de composición, Terófitos/hemicriptófitos erectos

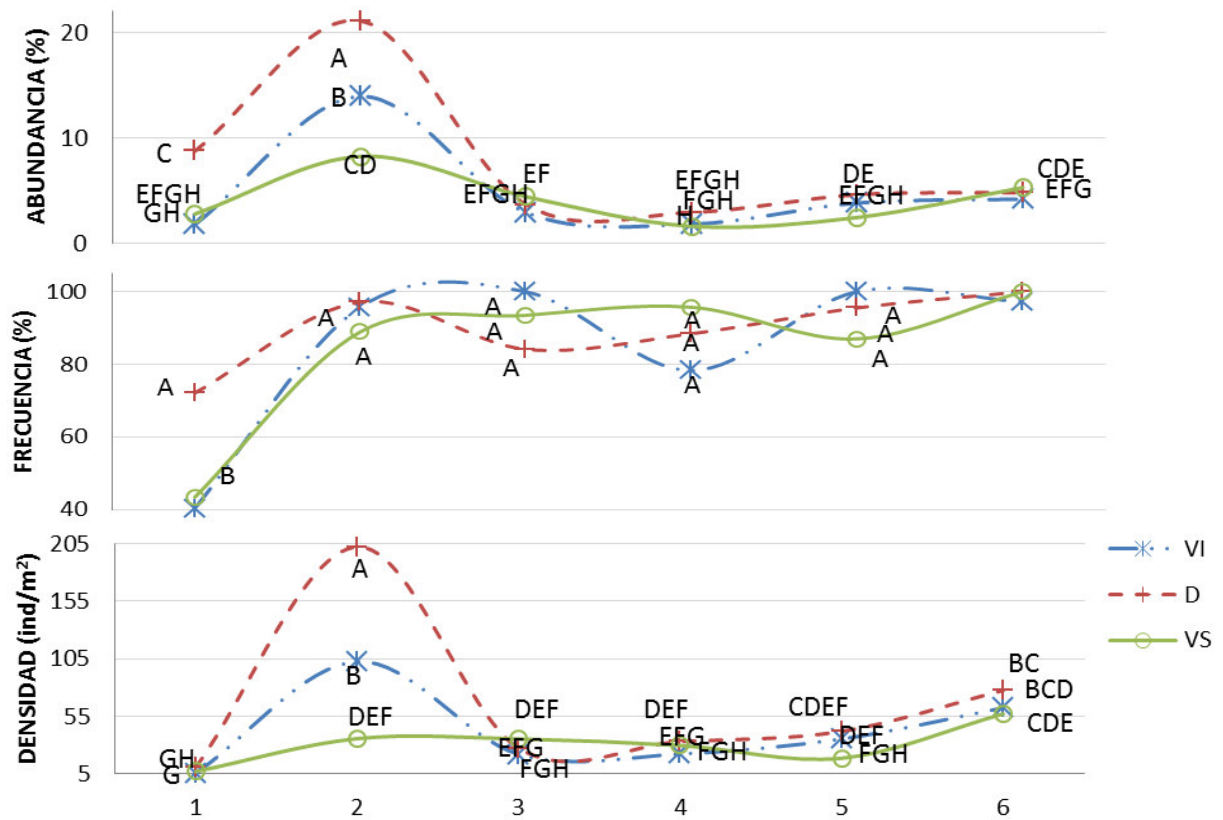


Figura 28. Evolución de los indicadores de composición, Terófitos/hemicriptófitos rastreros

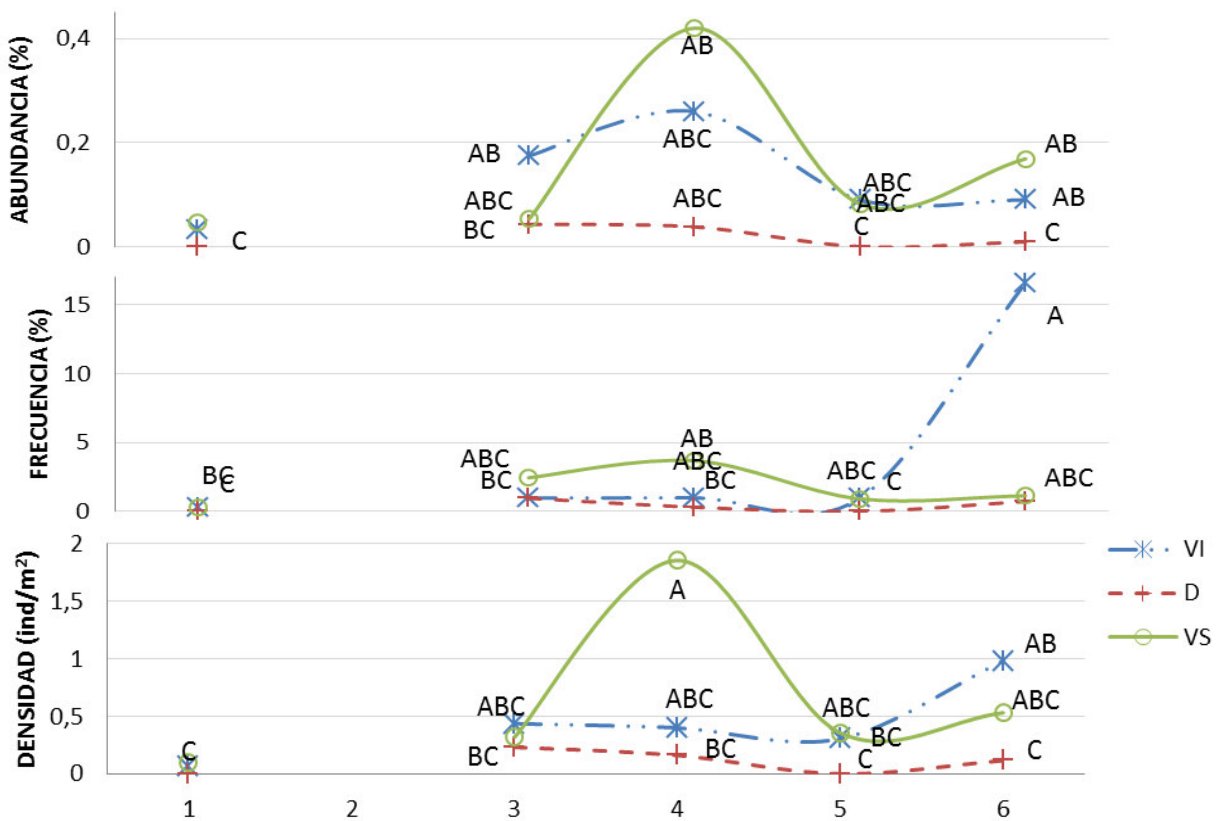


Figura 29. Evolución de los indicadores de composición, Terófitos/hemicriptófitos rosulados

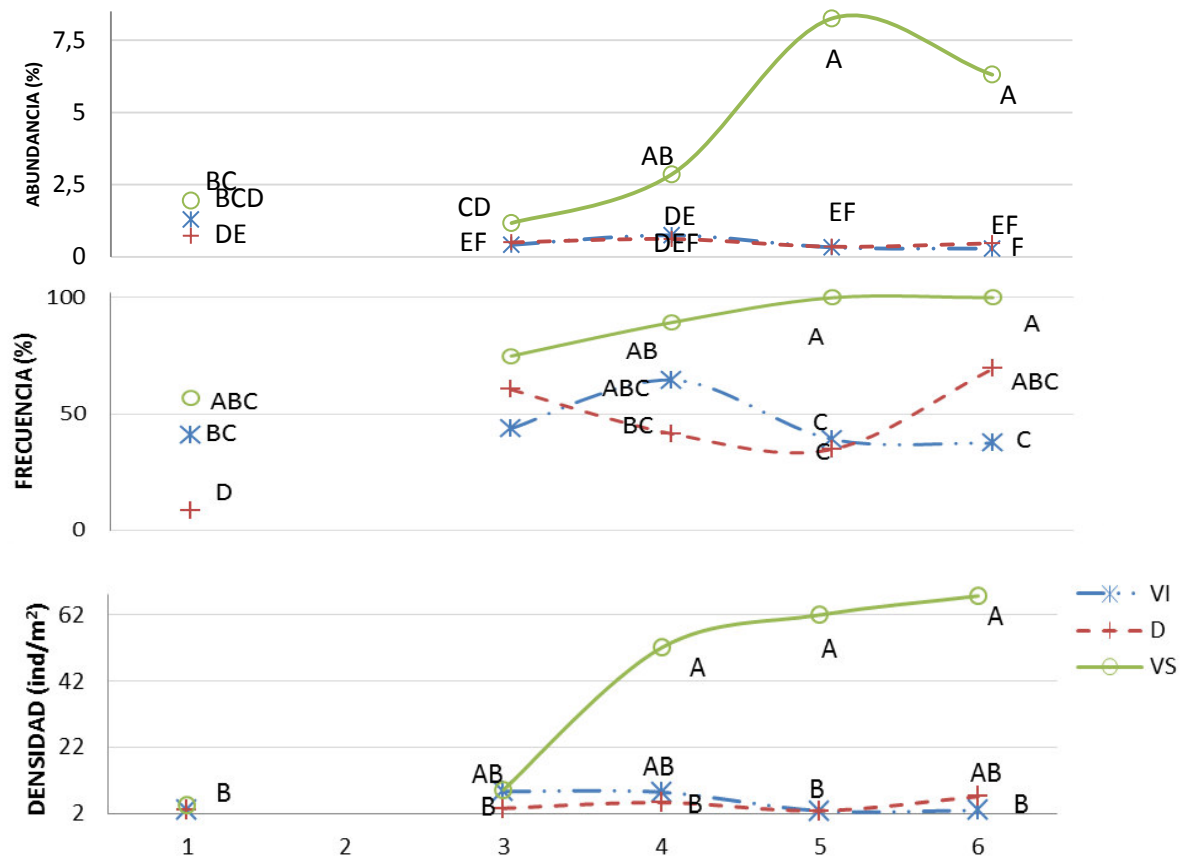


Figura 30. Evolución de los indicadores de composición Hemicriptófitos/Geófitos rastreros

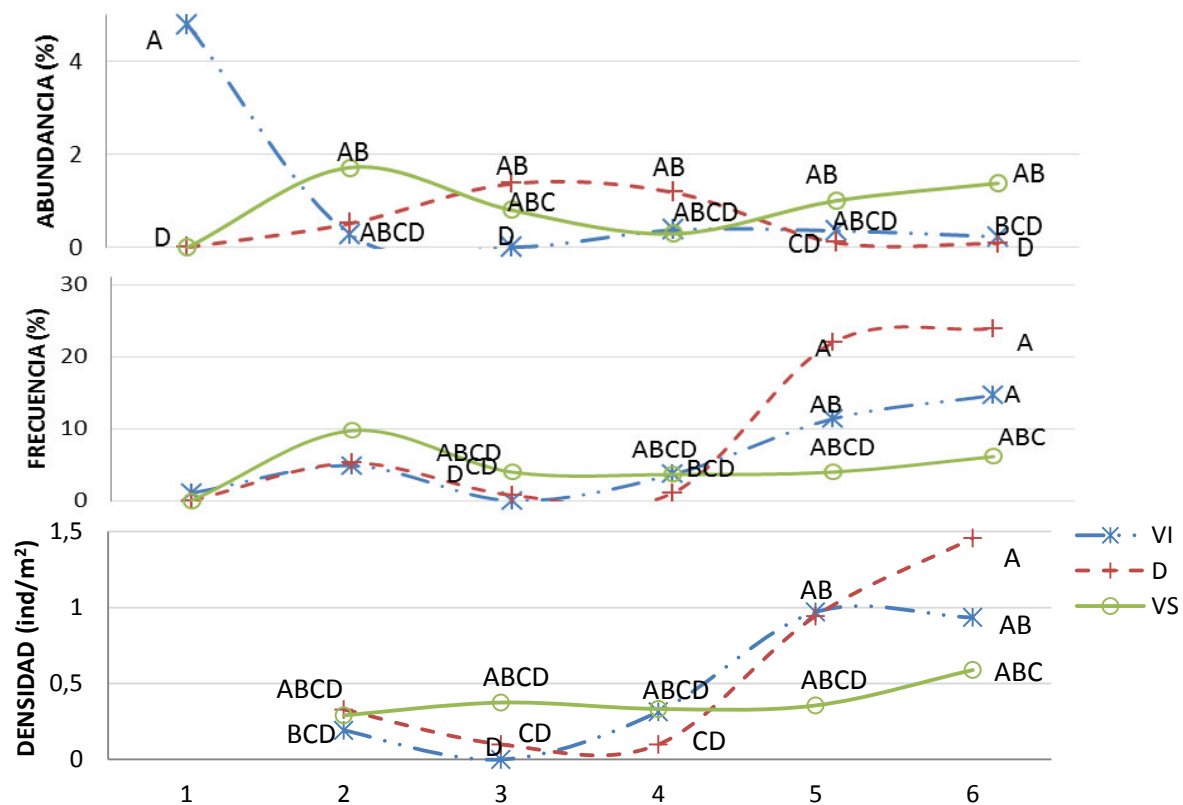


Figura 31. Evolución de los indicadores de composición Hemicriptófitos/Geófitos rosulados

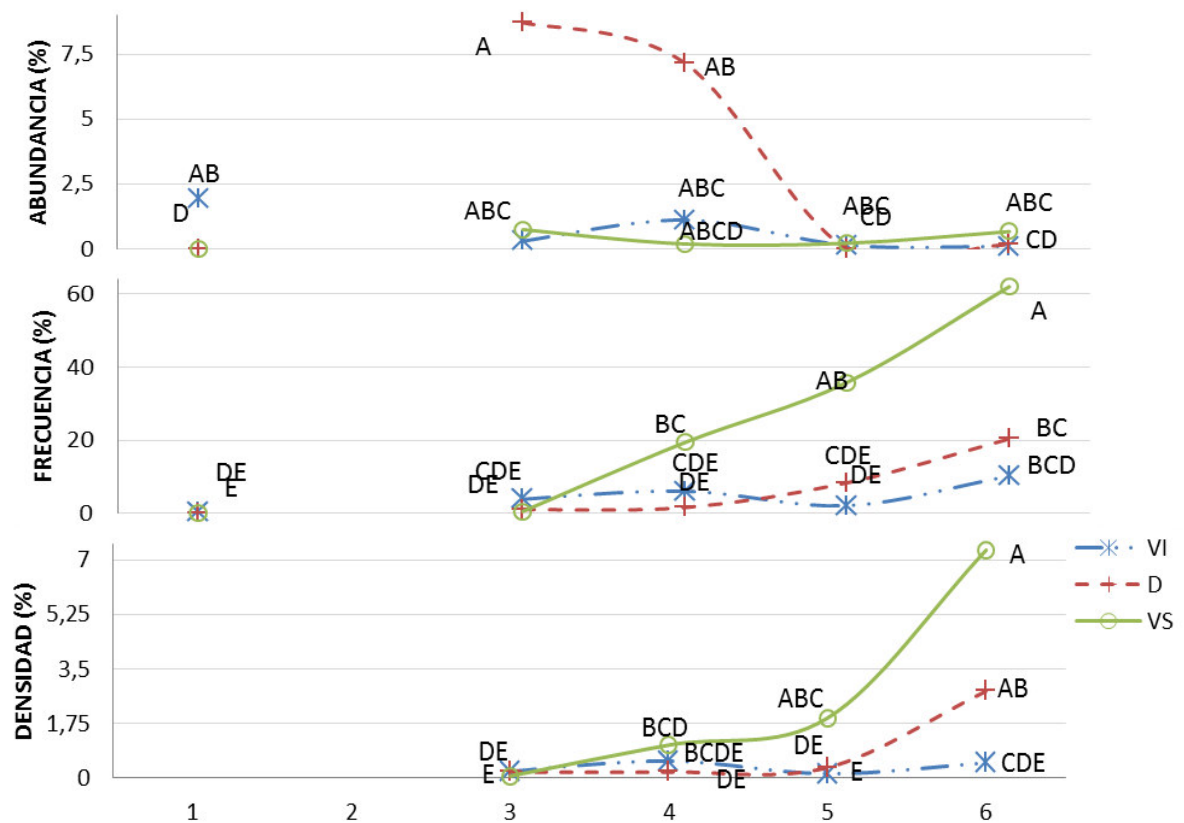


Figura 32. Evolución de los indicadores de composición para los Geófitos

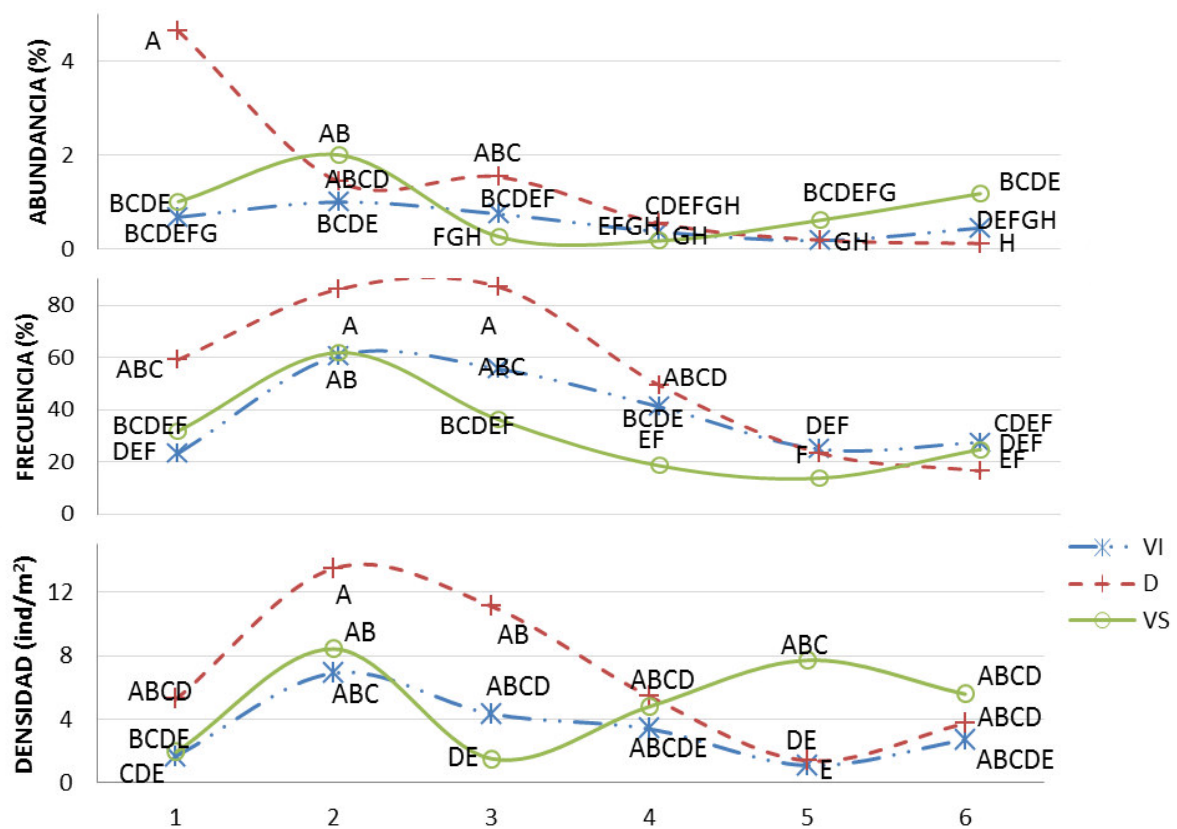


Figura 33. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar (abril)

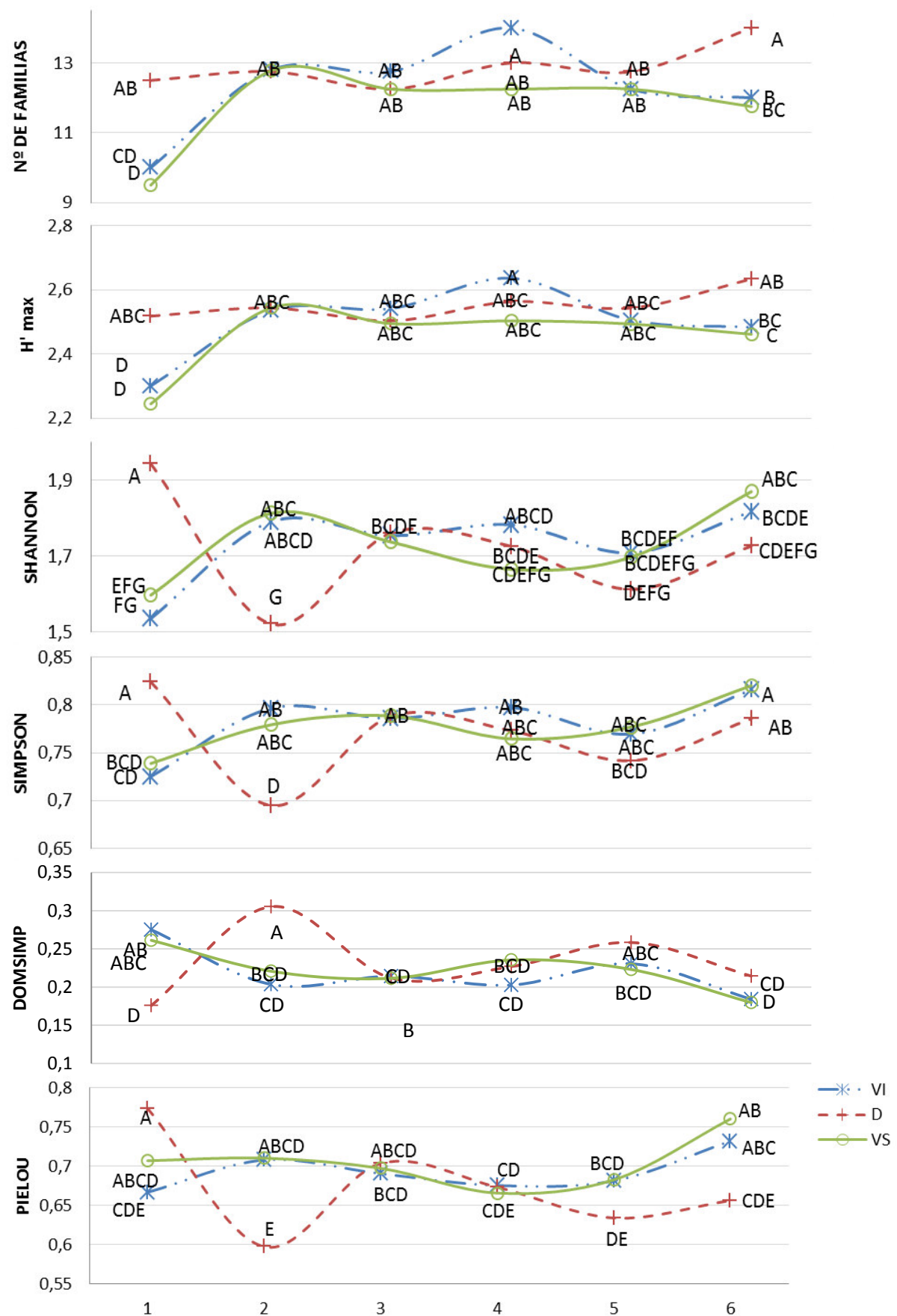


Figura 34. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel genérico (abril)

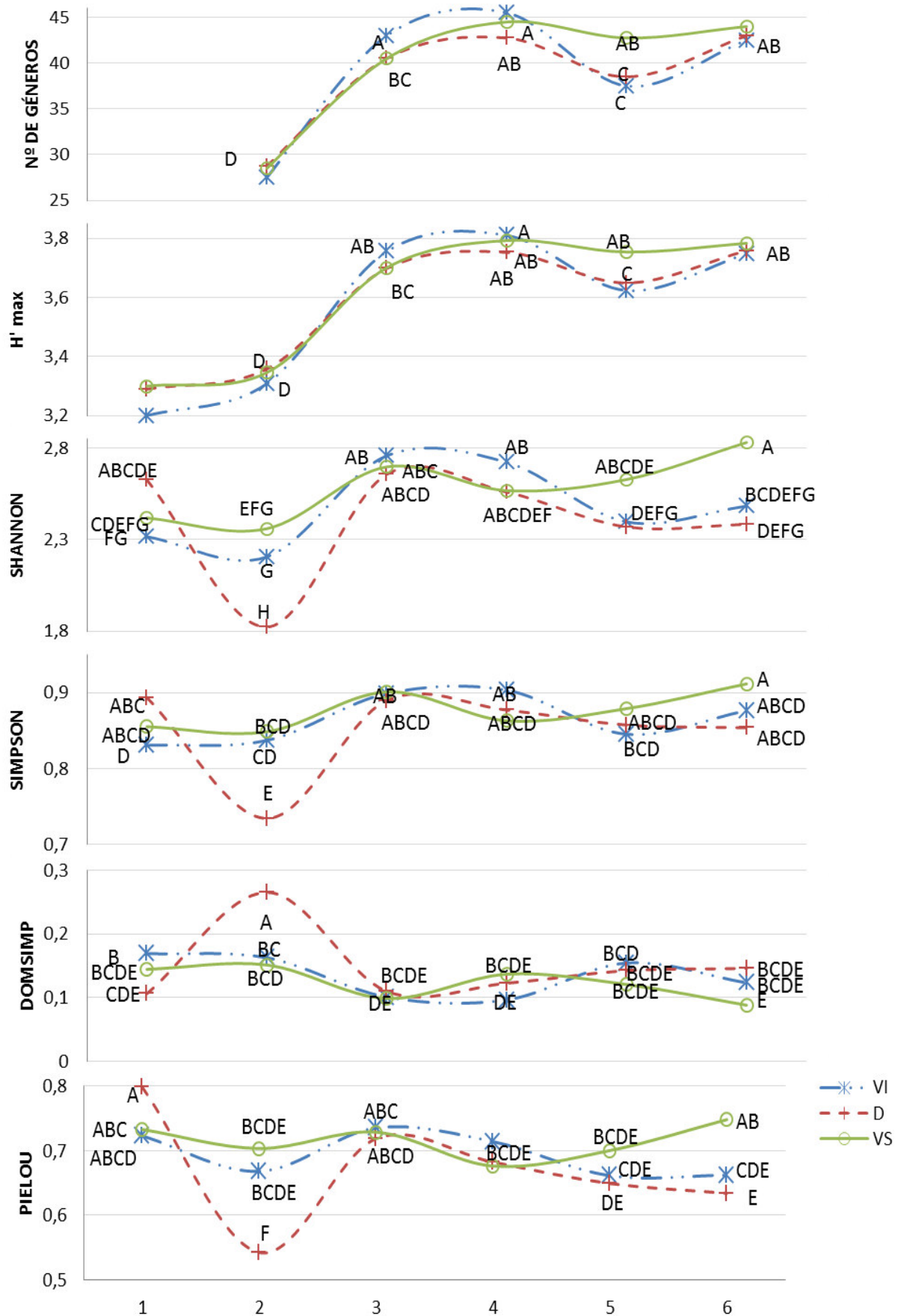


Figura 35. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel específico (abril)

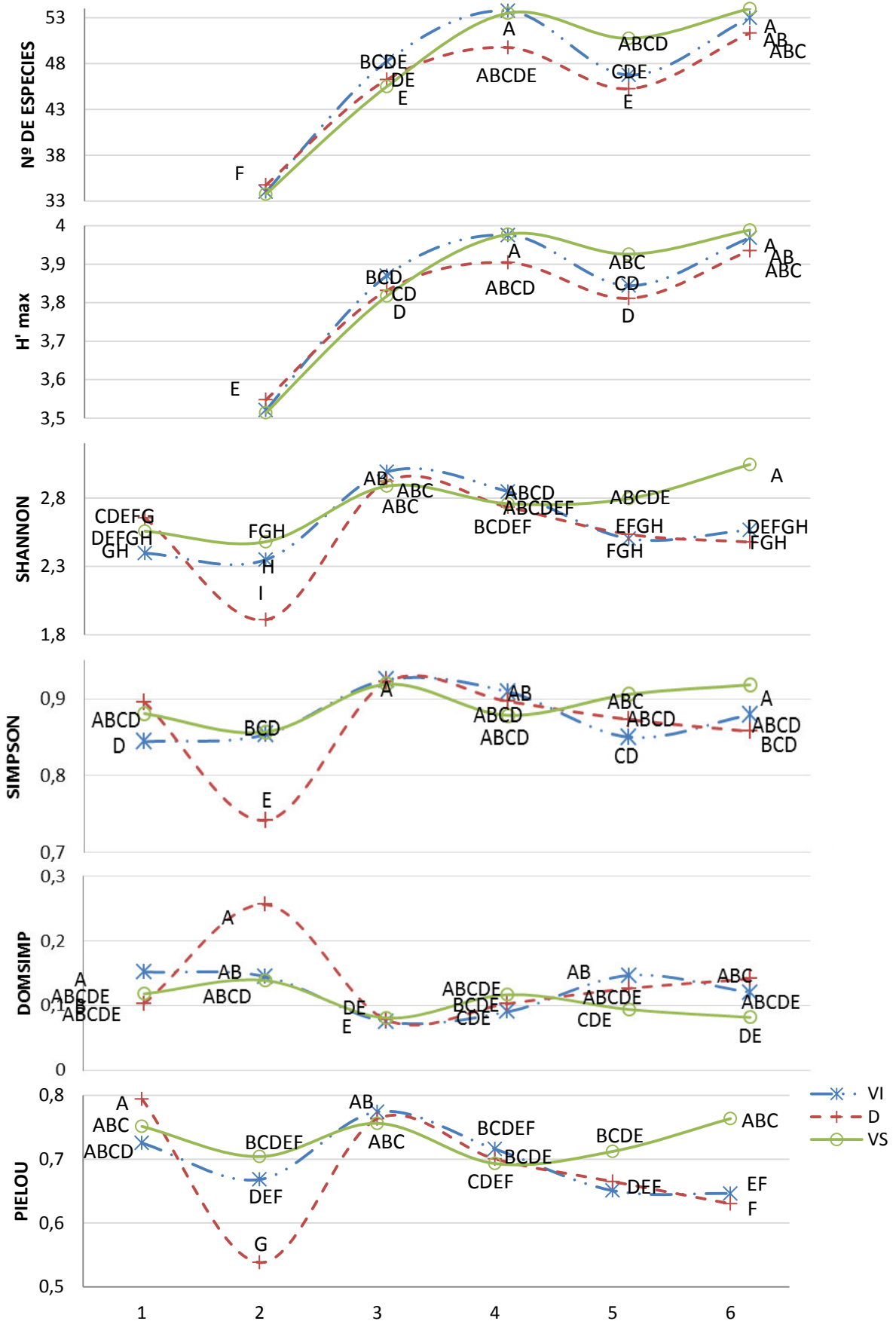


Figura 36. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel de biotipos (abril)

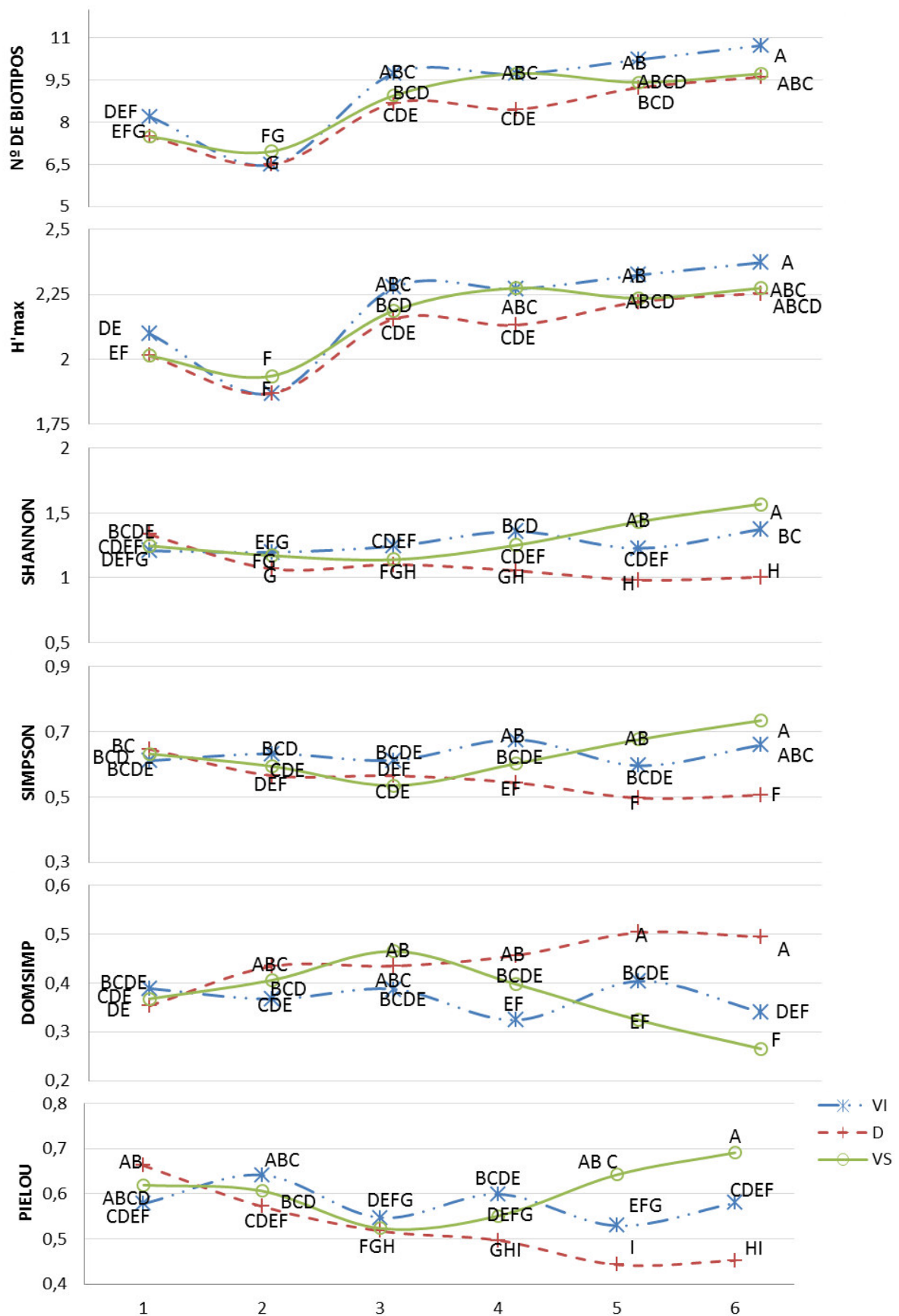


Figura 37. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel familiar, antes del segundo control de la cubierta (junio)

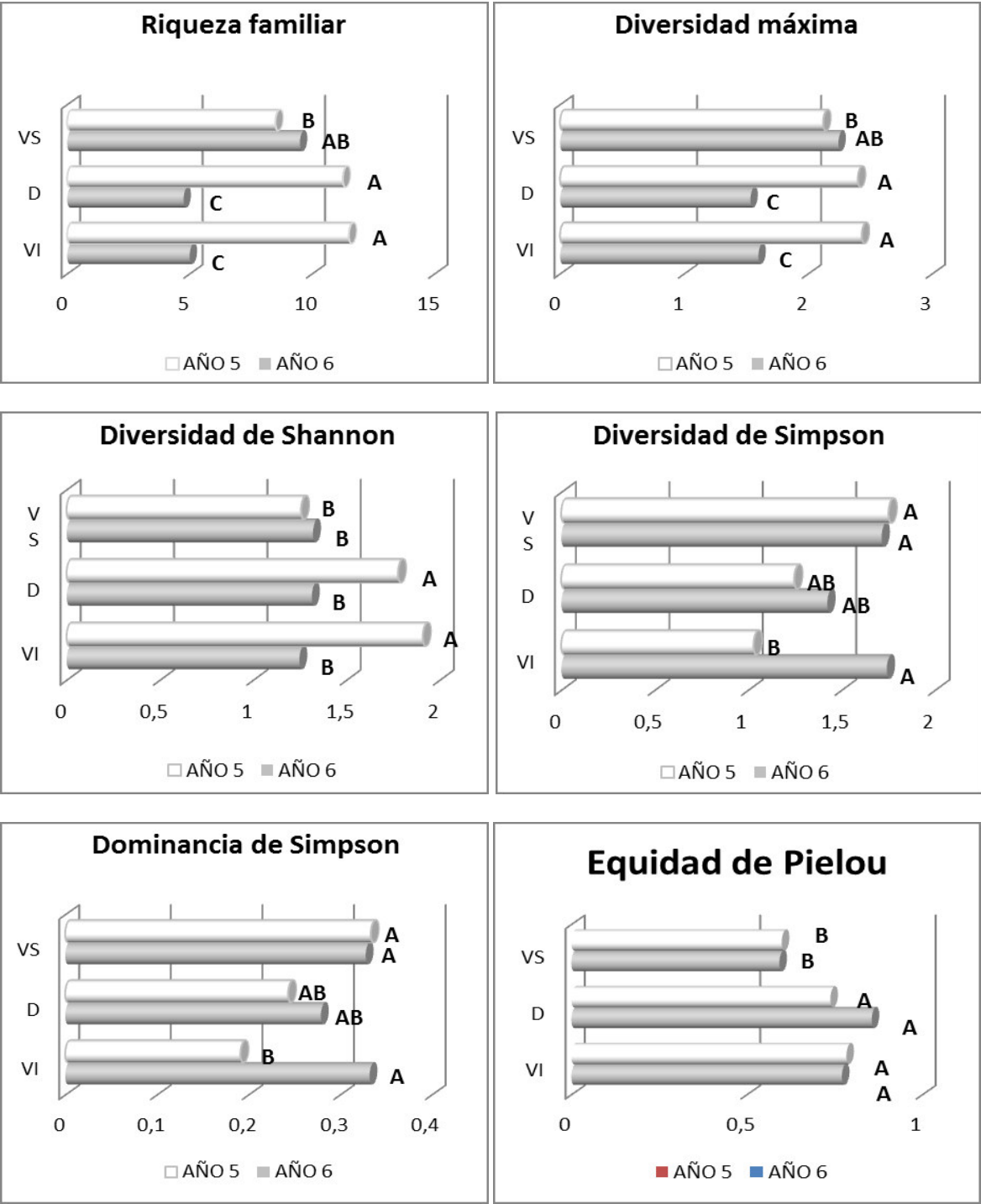


Figura 38. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel genérico, antes del segundo control de la cubierta (junio)

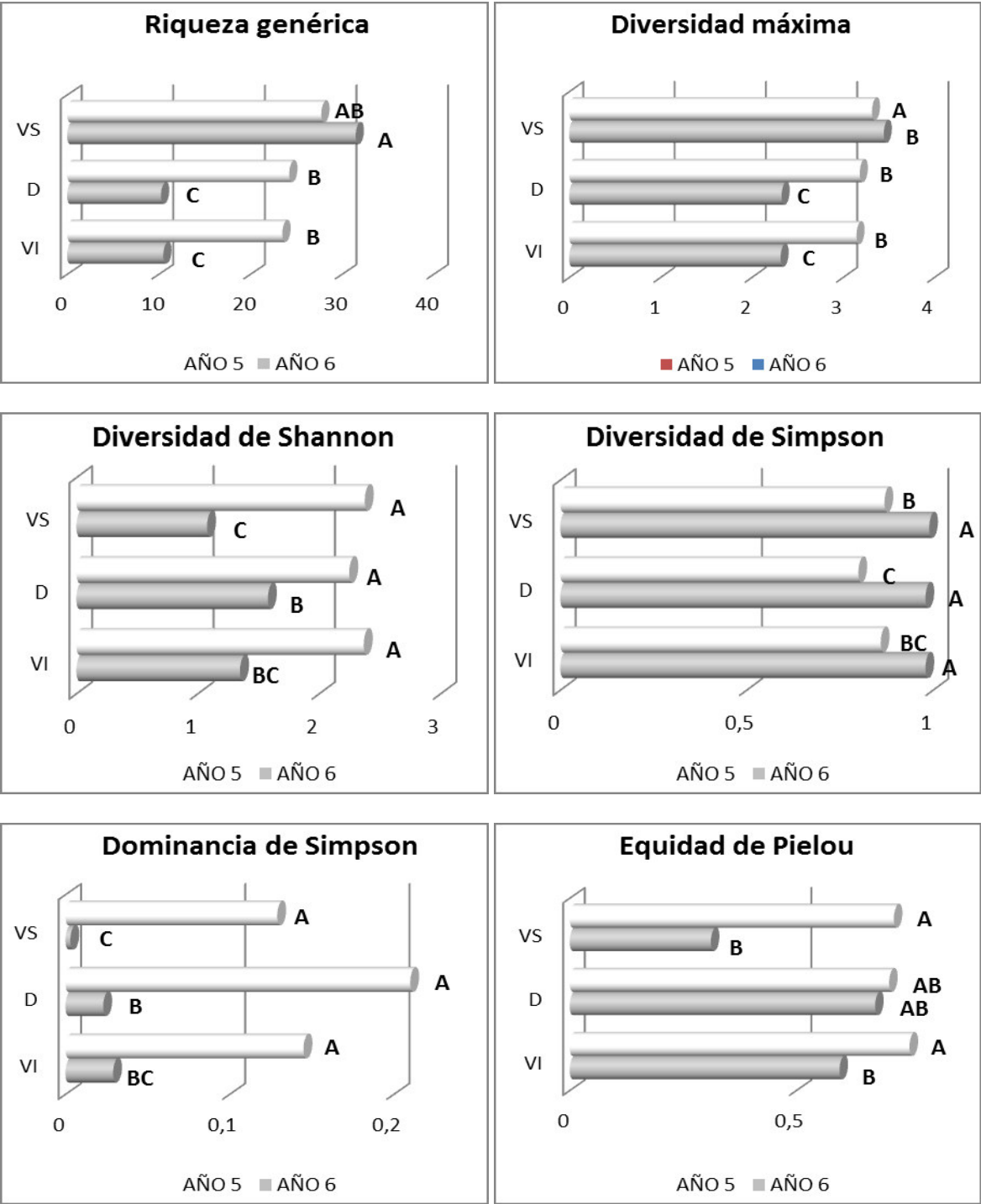
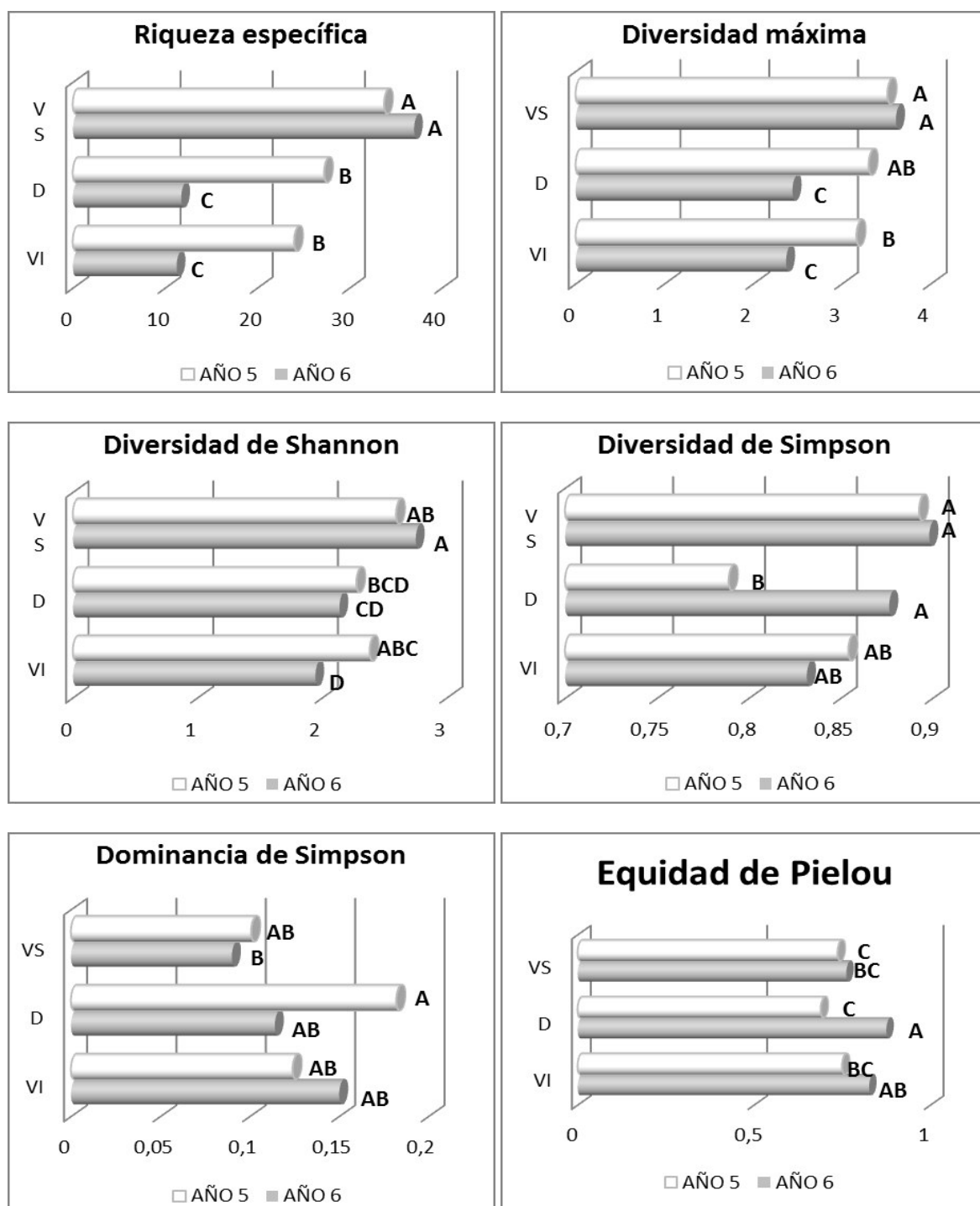


Figura 39. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel específico, antes del segundo control de la cubierta (junio)



ANEXO 1.D

RASGOS FUNCIONALES CLAVE

Especies más importantes X Rasgos funcionales (Matriz SPXR). [NºSP: nº de especie; FAM: familia; I.GE: inicio germinación; I.FL: inicio floración; E.F: estado fenológico; BIO: biotipo; T.HOJ: Tamaño de la hoja; T.SEM: Tamaño de la semilla; ALT: altura; PROF: profundidad de la raíz; TIP.R: tipo de raíz; M.S: materia seca; P.P: producción de polen; P.N: producción de néctar; EVIT: evitación; REG: regeneración]. La codificación de las variables categóricas se puede consultar en la Tabla 1.4.

Género	Especie	NºSP	FAM	IGE	IFL	E.F	BIO	THOJ	TSEM	ALT	PROF	TIPR	M.S	P.P	P.N	EVIT	REG
<i>Alyssum</i>	<i>simplex</i>	1	4	3	2	5	1	1	1,58	10	6	1	0,65	1	1	2	2
<i>Andryala</i>	<i>integrifolia</i>	2	2	4	6	1	9	3	0,39	6	8	1	0,2	1	1	2	1
<i>Anthemis</i>	<i>arvensis</i>	3	2	1	4	2	1	2	3,78	7	5	1	1	1	1	1	2
<i>Arenaria</i>	<i>serpyllifolia</i>	4	1	6	4	3	2	1	0,2	5	3	1	0,1	1	2	1	2
<i>Astragalus</i>	<i>stella</i>	5	9	5	4	4	2	2	3,44	4	7	1	0,38	1	2	1	2
<i>Avena</i>	<i>sterilis</i>	6	7	3	4	2	1	3	13,74	50	10	2	1,92	2	2	2	1
<i>Bromus</i>	<i>diandrus</i>	7	7	3	4	3	1	3	13,74	40	10	2	1,95	2	2	2	1
<i>Bromus</i>	<i>madritensis</i>	8	7	3	4	3	1	2	15,71	20	8	2	1,69	2	2	2	2
<i>Calendula</i>	<i>arvensis</i>	9	2	1	1	4	1	2	12,57	13	5	1	1	1	1	2	1
<i>Capsela</i>	<i>bursa-pastoris</i>	10	4	2	1	6	5	2	0,39	25	5	1	0,45	1	1	2	2
<i>Centaurea</i>	<i>solstitialis</i>	11	2	6	5	1	1	3	2,17	12	13	1	0,69	1	1	2	1
<i>Cerastium</i>	<i>glomeratum</i>	12	1	3	3	5	1	1	0,19	5	3	1	0,24	1	1	2	2
<i>Convolvulus</i>	<i>arvensis</i>	13	3	6	6	1	7	2	8,34	5	10	1	0,1	1	1	1	1
<i>Coronilla</i>	<i>scorpioides</i>	14	9	1	4	3	1	2	3,24	8	4	1	0,32	1	2	2	2
<i>Crepis</i>	<i>vesicaria</i>	15	2	3	4	1	6	3	3,53	6	13	1	6,3	1	1	2	1
<i>Diplotaxis</i>	<i>virgata</i>	16	4	2	1	5	1	3	0,57	50	14	1	1,85	1	1	2	2
<i>Erodium</i>	<i>cicutarium</i>	17	6	3	2	5	3	2	0,8	6	9	1	1,05	1	2	1	1
<i>Filago</i>	<i>pyramidata</i>	18	2	6	5	1	2	1	0,11	4	5	1	0,4	1	2	1	2
<i>Herniaria</i>	<i>cinerea</i>	19	1	5	5	2	4	1	0,79	2	3	1	0,2	1	2	1	2
<i>Hirschfeldia</i>	<i>incana</i>	20	4	2	5	2	5	3	0,65	80	17	1	2,77	1	1	2	1
<i>Holosteum</i>	<i>umbelatum</i>	21	1	4	3	5	1	1	0,59	5	3	1	0,1	2	2	1	2
<i>Hordeum</i>	<i>murinum</i>	22	7	3	4	3	1	2	15,71	10	8	2	1,1	2	2	2	1
<i>Lactuca</i>	<i>serriola</i>	23	2	6	6	1	1	3	2,36	20	8	1	1,5	1	1	2	1
<i>Lamium</i>	<i>amplexicaule</i>	24	8	1	2	5	1	2	1,94	20	6	1	0,48	1	1	2	2
<i>Leontodon</i>	<i>longirostris</i>	25	2	5	5	2	6	2	3	8	6	1	0,73	1	1	1	1
<i>Lolium</i>	<i>rigidum</i>	26	7	3	4	2	1	2	10,45	7	7	2	0,82	2	2	2	1
<i>Medicago</i>	<i>minima</i>	27	9	3	3	4	2	2	1,64	3	10	1	0,74	1	1	1	1
<i>Medicago</i>	<i>orbicularis</i>	28	9	3	3	4	2	2	4,91	7	12	1	0,45	1	1	1	1
<i>Medicago</i>	<i>polymorpha</i>	29	9	3	3	4	2	2	2,49	5	11	1	1,06	1	1	1	1
<i>Melilothus</i>	<i>sulcata</i>	30	9	4	4	3	1	2	5,62	15	9	1	0,42	1	2	2	2

Género	Especie	NºSP	FAM	IGE	IFL	E.F	BIO	THOJ	TSEM	ALT	PROF	TIPR	M.S	P.P	P.N	EVIT	REG
<i>Minuartia</i>	<i>hybrida</i>	31	1	5	3	4	1	1	0,19	4	2,5	1	0,05	2	2	1	2
<i>Papaver</i>	<i>roheas</i>	32	10	6	5	2	1	3	0,23	12	4	1	0,5	1	1	2	2
<i>Senecio</i>	<i>vulgare</i>	33	2	1	1	6	1	2	0,39	17	5	1	1,24	1	1	2	2
<i>Silene</i>	<i>vulgaris</i>	34	1	2	4	2	7	2	1,87	15	8	1	0,3	1	1	2	1
<i>Sonchus</i>	<i>oleraceus</i>	35	2	6	5	2	1	3	1,84	7	9	1	2,13	1	1	2	1
<i>Stellaria</i>	<i>media</i>	36	1	2	1	5	2	1	0,87	5	9	1	0,58	1	2	1	2
<i>Trifolium</i>	<i>scabrum</i>	37	9	3	4	3	2	2	1,59	4	7	1	0,48	1	1	1	1
<i>Trifolium</i>	<i>tomentosum</i>	38	9	2	3	3	2	2	1,23	4	7	1	0,37	1	2	1	1
<i>Trigonella</i>	<i>monspeliaca</i>	39	9	5	3	5	2	2	0,91	6	7	1	0,8	1	1	2	1
<i>Veronica</i>	<i>hederifolia</i>	40	5	1	2	5	2	1	0,71	5	4	1	0,7	1	1	1	2
<i>Veronica</i>	<i>polita</i>	41	5	1	1	6	2	1	1,25	5	4	1	0,37	1	1	1	2
<i>Vicia</i>	<i>sativa</i>	42	9	2	4	3	8	3	11,78	40	9	1	2,1	1	1	2	2

ANEXO 1.E. Tratamiento estadístico de los datos de composición y estructura florística y de biotipos.

ANEXO 1.F. Tratamiento estadístico de los datos de composición y estructura de grupos funcionales.

(Debido a la extensión de estos anexos, su contenido se adjunta en el CD de la tesis doctoral).

ANEXO 1.G

SERVICIOS Y PROPIEDADES ECOSISTÉMICAS

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES DE COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE GRUPOS FUNCIONALES

SOBRE EL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Tratamiento estadístico de diferencias anuales entre tratamientos realizado con análisis ANOVA combinado, diseño en split plot (parcelas divididas). Separación de medias por el método de la menor diferencia significativa (LSD). Nivel de significación $\alpha = 0.05$.

Los resultados de la comparación de medias aparecen seguidas de una o varias letras, cada letra señala a un grupo homogéneo de medias, de forma que medias seguidas por alguna letra común no difieren significativamente entre sí para el nivel alfa elegido.

ABREVIATURAS INCLUIDAS EN LOS GRÁFICOS

VI.- Tratamiento con cubierta de veza y control con labor

D.- Tratamiento con cubierta espontánea y control con labor

VS.- Tratamiento con cubierta de veza y control con desbrozadora

De 1 hasta 6 en el eje de ordenadas equivale a año 1 (2003-2004), 2 (2004-2005), 3 (2005-2006), 4 (2006-2007), 5 (2007-2008) y 6 (2008-2009).

H' max.- Diversidad máxima

DOMSIMP.- Dominancia de Simpson

SERVICIOS Y PROPIEDADES ECOSISTÉMICAS

Los rasgos funcionales seleccionados para el análisis están relacionados con ciertos servicios ecosistémicos generales y a su vez con procesos ecosistémicos concretos que permiten optimizar el funcionamiento del olivar. Los servicios ecosistémicos a los que se hace referencia son los siguientes (Casanoves et al., 2011):

- a) Producción de biomasa y captura de carbono
- b) Preservación de la fertilidad de suelos
- c) Producción de forraje
- d) Polinización para la producción y perpetuación de las plantas
- e) Resistencia a invasiones que tienen un impacto negativo a nivel ecológico, económico y/o cultural
- f) Control de plagas y enfermedades en sistemas agrícolas
- g) Protección natural contra tormentas, inundaciones, huracanes, fuegos que causen daño a los humanos y a los sistemas de producción

h) Regulación hídrica

Los servicios ecosistémicos no se relacionan uno a uno con los procesos ecosistémicos. En este caso, los procesos sobre los que queremos detectar respuestas o efectos son los siguientes:

Control de la erosión. Los rasgos de las arvenses que interesan son los relacionados con sus ritmos fenológicos, para que su pronto establecimiento proteja el suelo de las lluvias otoñales. También los relacionados con su capacidad de recubrir el suelo, por lo que utilizaremos la productividad, definida como la cantidad de plantas por metro cuadrado multiplicada por su materia seca. Por otro lado, el tipo de crecimiento de la planta como es el rastrero o rosulado, con tallos sobre el suelo, es el más interesante para proteger los suelos en pendiente.

Capacidad de mantenimiento de las cadenas tróficas. En relación a este proceso, se diferencia por un lado la capacidad de producir polen y néctar para alimentar tanto a las abejas como a otros polinizadores, así como a los enemigos naturales de las principales plagas del olivar. Por otro lado, la capacidad de producir biomasa es indicadora de los herbívoros que podrían ser alimentados; con este fin, se utiliza la productividad como carácter clave de las arvenses presentes.

Uso de los recursos. Este proceso da idea del efecto que las arvenses provocan sobre los ciclos de nutrientes, del agua y de la energía. Los rasgos a tener en cuenta son, la capacidad de fijar nitrógeno en relación al ciclo del nitrógeno, la profundidad, el tipo de raíces y el tamaño de la hoja que presentan las plantas como indicadoras de la regulación del agua contenida en el suelo. La capacidad de interceptar la luz, es decir la altura, el tipo de crecimiento y el tamaño de la hoja por parte de la vegetación permite una mayor o menor actividad fotosintética y producción de biomasa. Como respuesta, estos rasgos indican la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Asimismo, las especies tardías o tempranas tendrán un efecto distinto sobre el contenido de agua.

Capacidad de dominancia. Los rasgos relacionados con la capacidad de dominancia son una respuesta de la vegetación ante el manejo de la cubierta. En las comunidades vegetales, las distintas especies tienen diferente grado de éxito, con algunas dominantes que hacen sombra a las demás, acumulando ellas la mayor parte de la biomasa y la actividad biológica del conjunto (Terradas, 2001). Las especies dominantes son las más frecuentes, abundantes y de mayor biomasa en la comunidad. Los ritmos fenológicos, la altura, el tamaño de la semilla, la capacidad de movilizar nutrientes y el tipo de crecimiento son rasgos relacionados.

Capacidad de sobrevivir a las perturbaciones. Los rasgos relacionados con estos procesos son respuesta de los tipos funcionales ante las distintas estrategias de control de la cubierta vegetal. De este modo la capacidad de regeneración, rebrote y ahijado o la evitación, son rasgos que indican la respuesta de la vegetación frente al tipo de perturbación al que sometemos a las cubiertas.

Figura 1. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Gramíneas

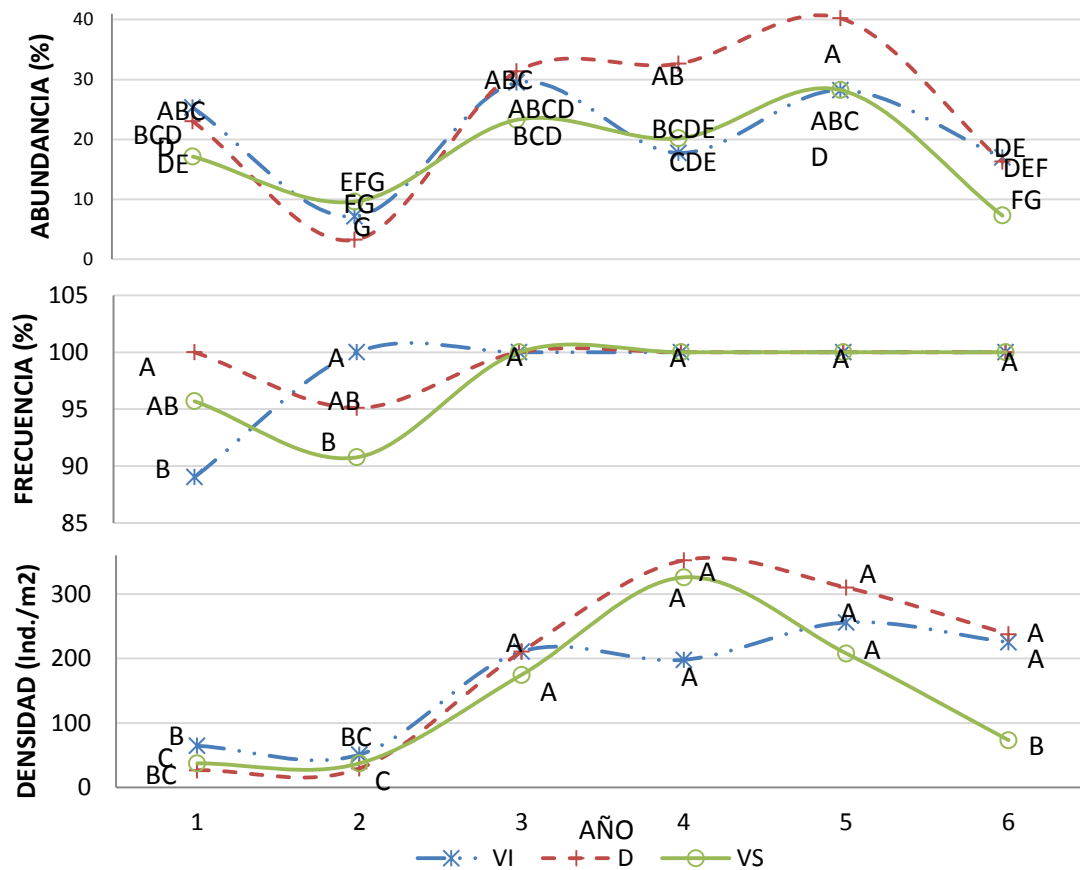


Figura 2. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Perennizante

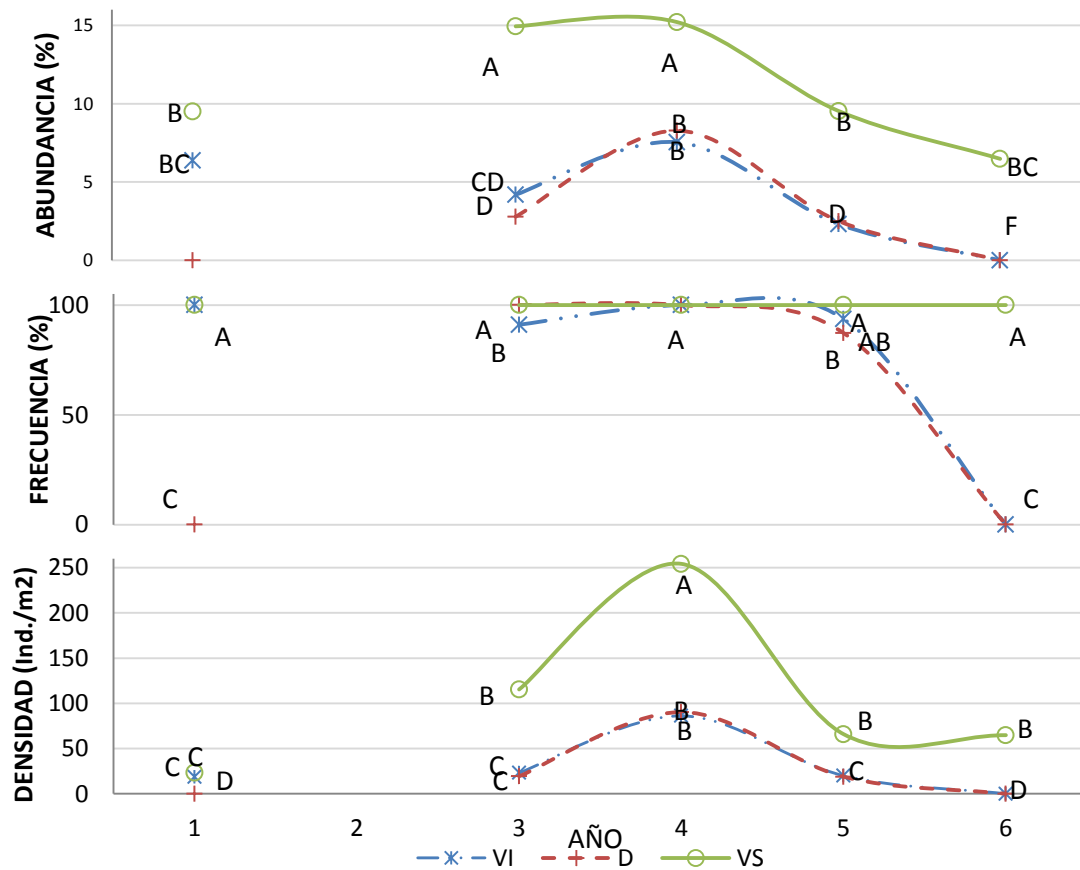


Figura 3. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Veza sembrada

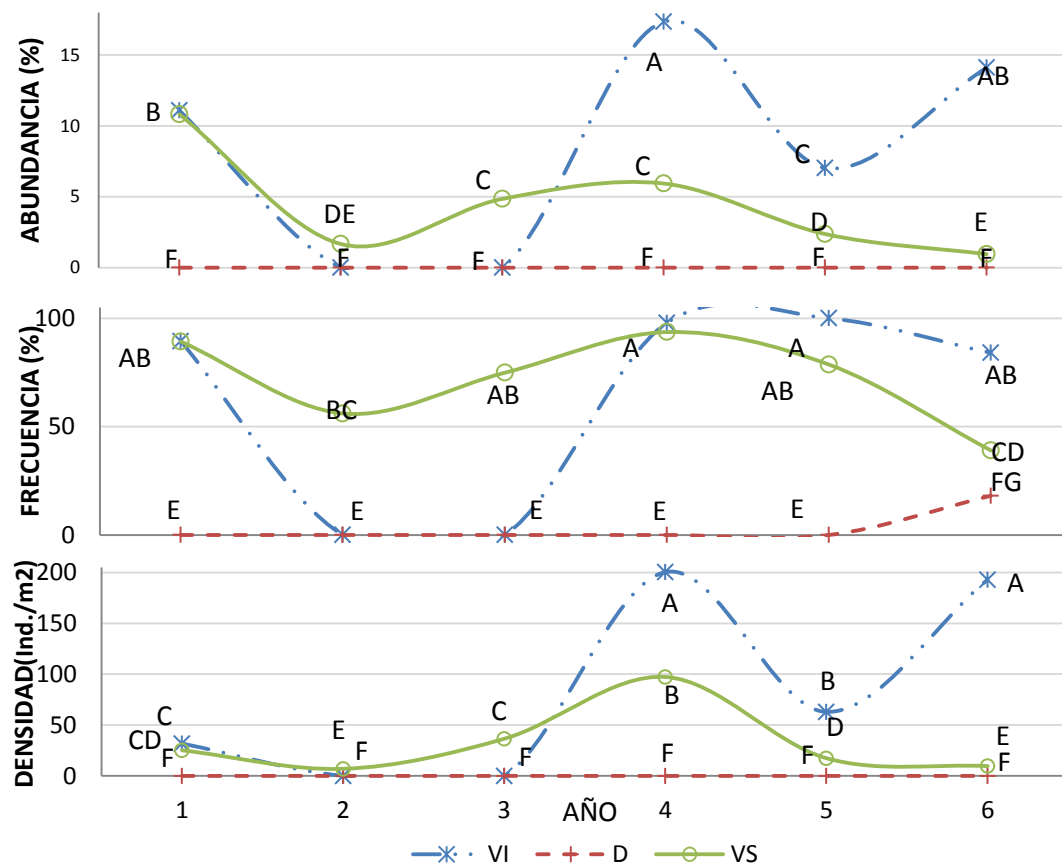


Figura 4. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Competitivas

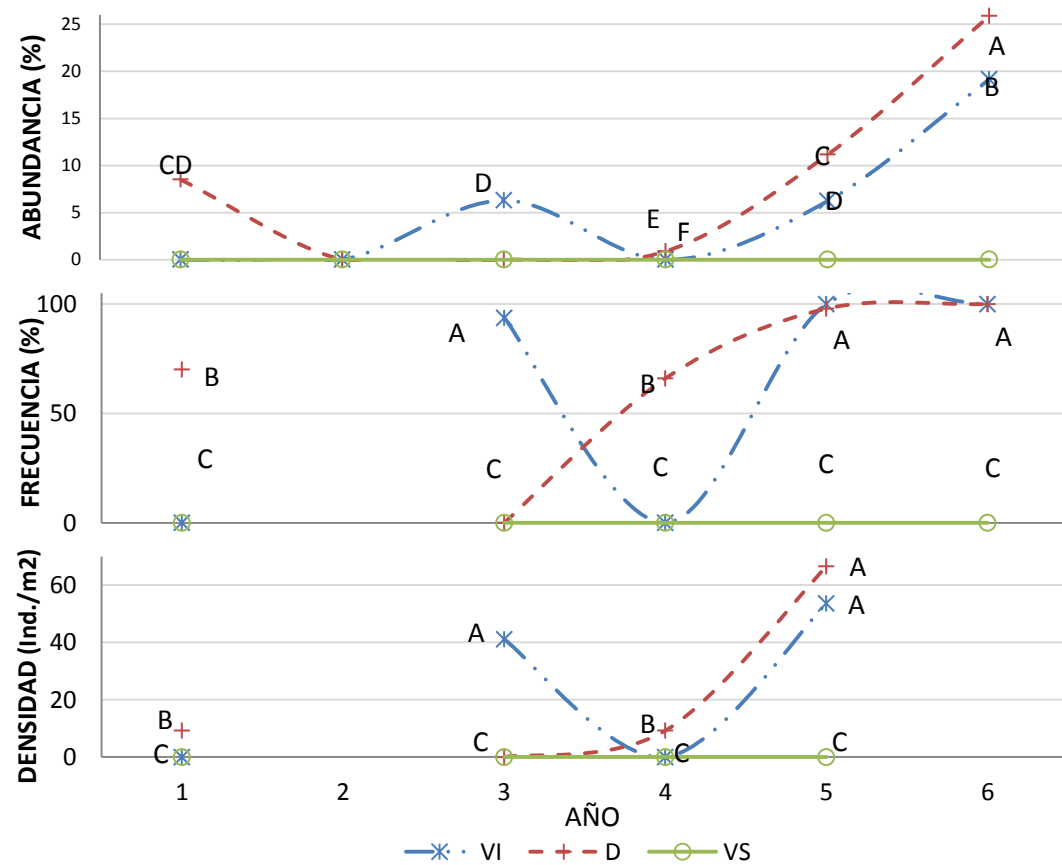


Figura 5. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Flor de invierno

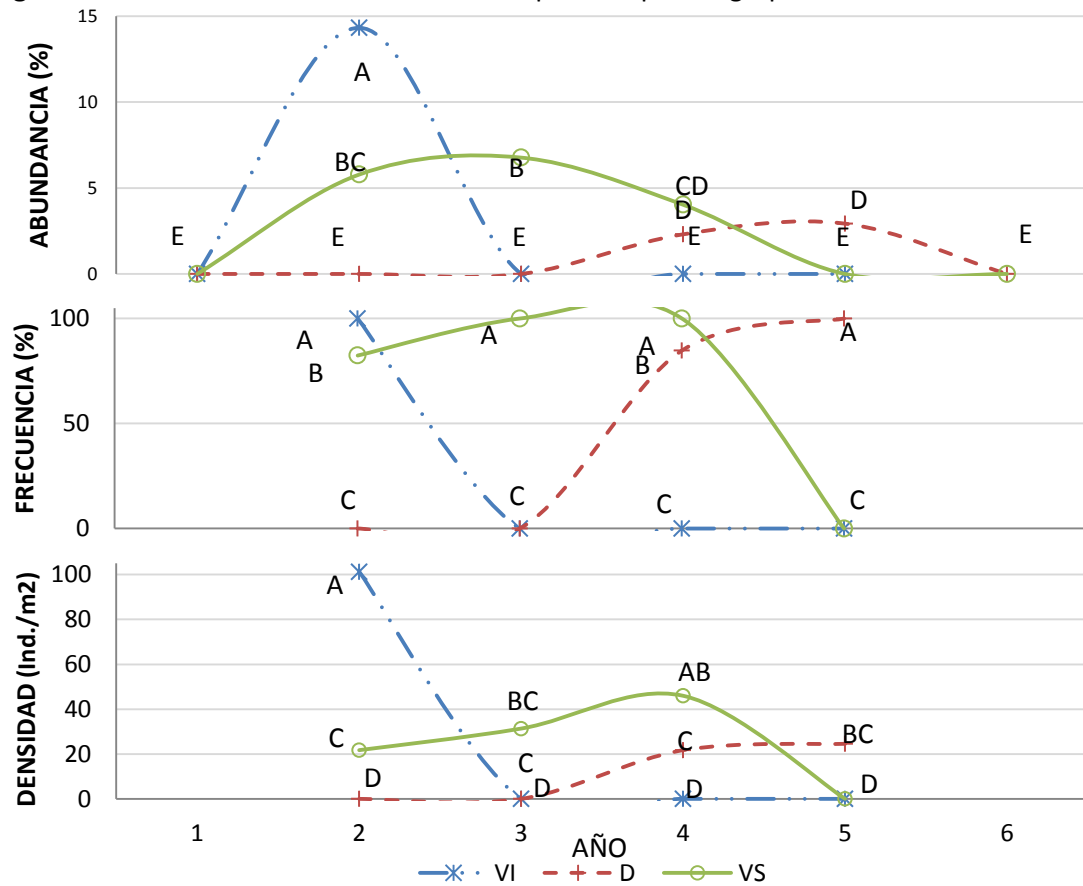


Figura 6. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Fijadoras rastreras

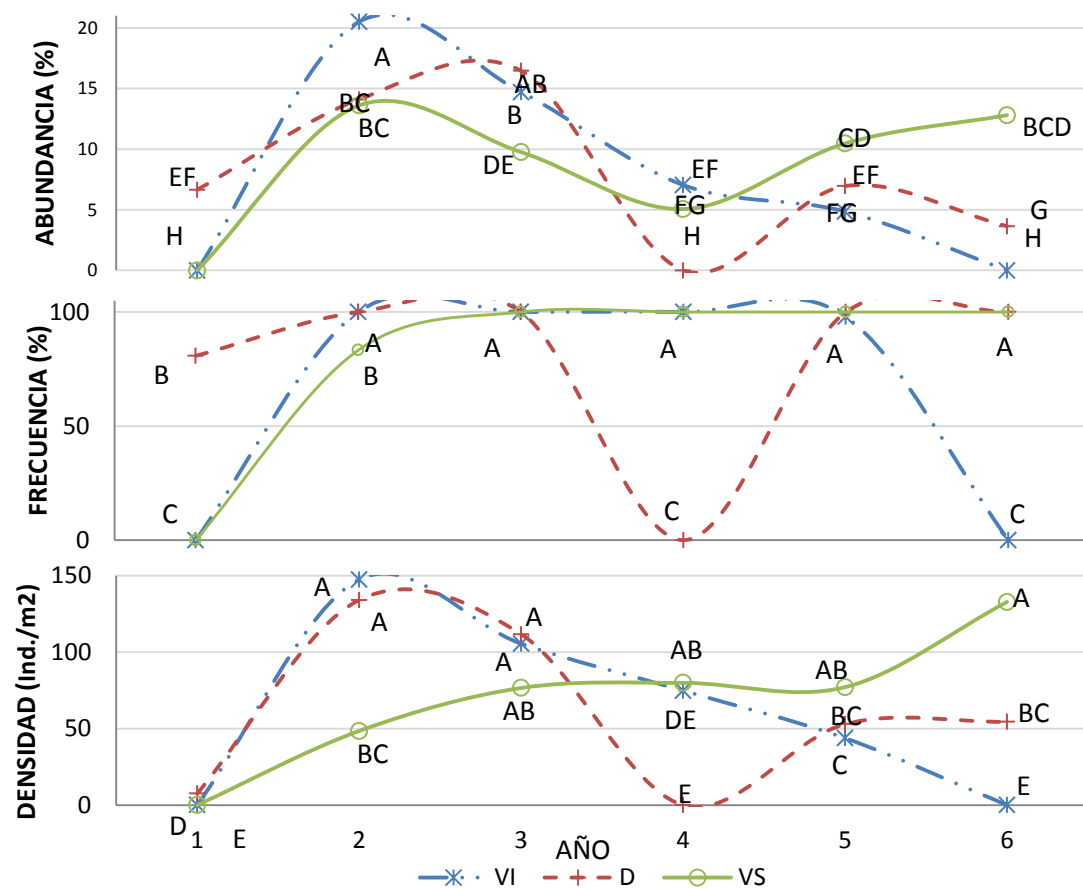
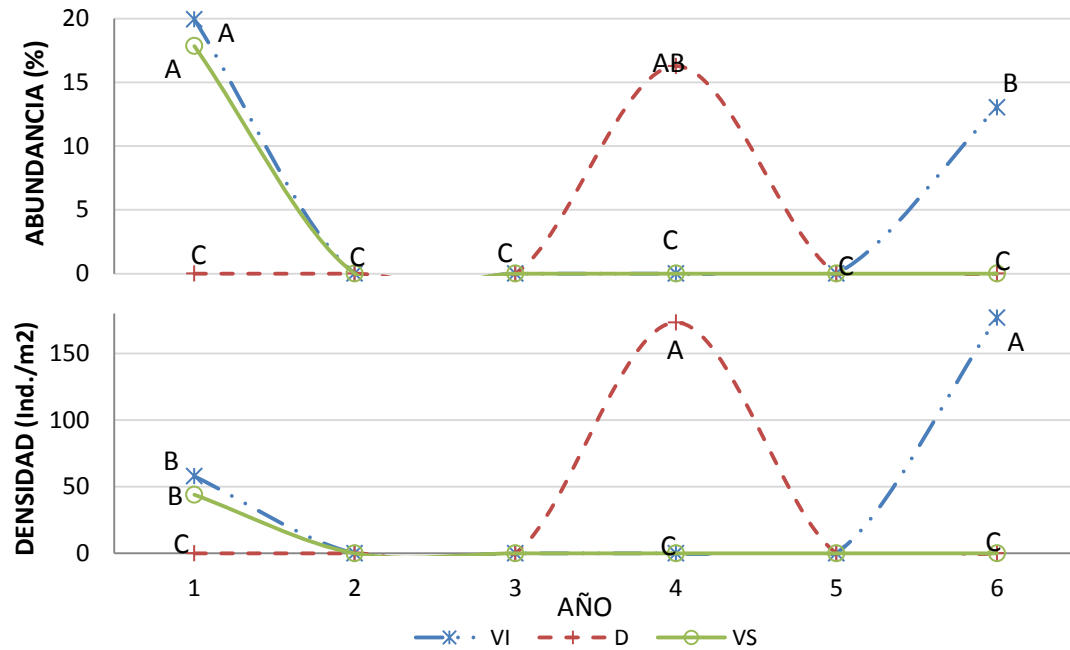


Figura 7. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Ruderal seco



La Frecuencia relativa se mantiene constante con un valor del 100% desde el año 1 al año 6 en todos los tratamientos.

Figura 8. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Flor tardía

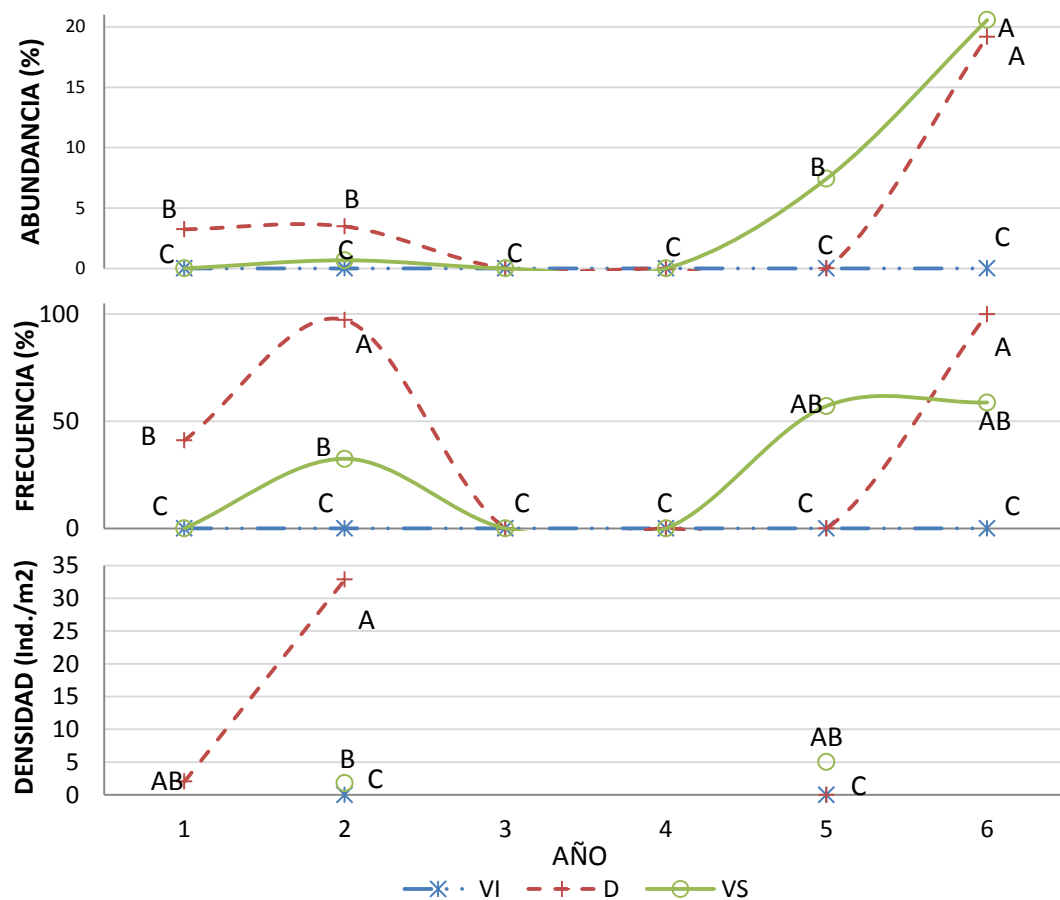


Figura 9. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Escionitrófilas

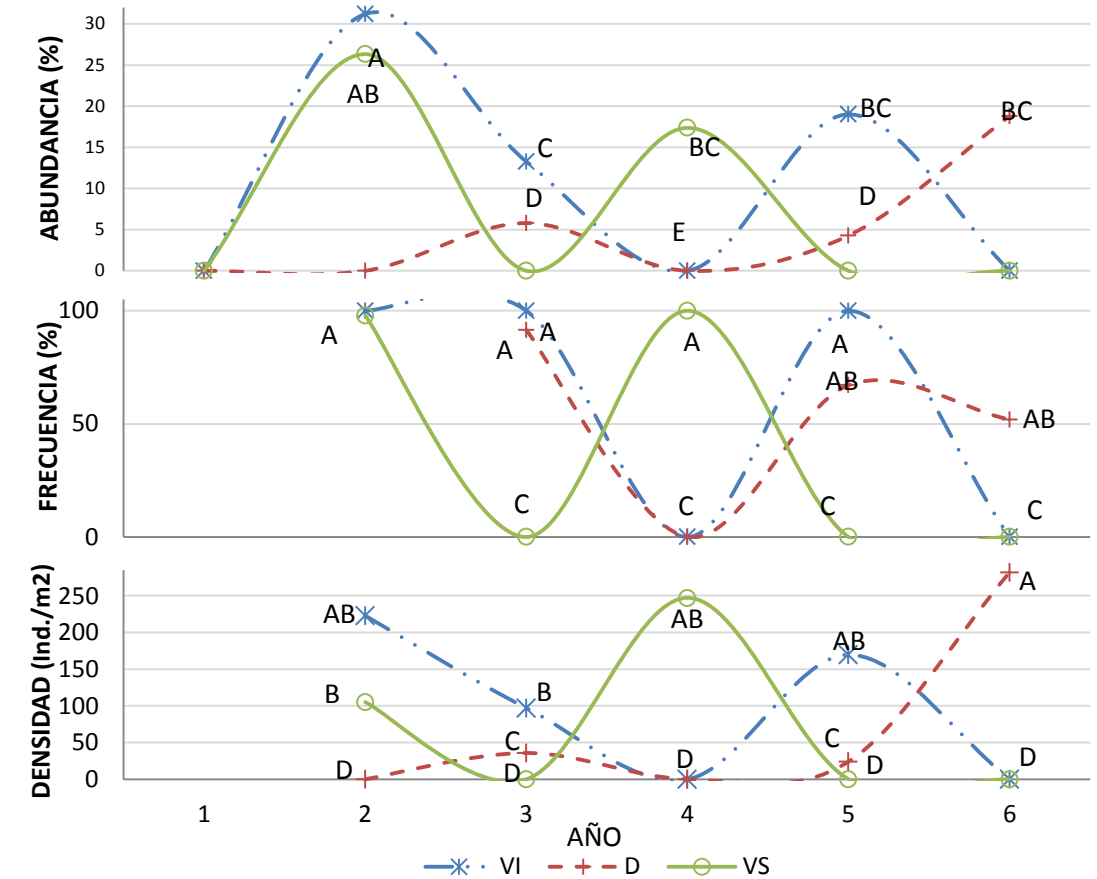


Figura 10. Evolución de los indicadores de composición para el grupo Esciófilas evitadoras

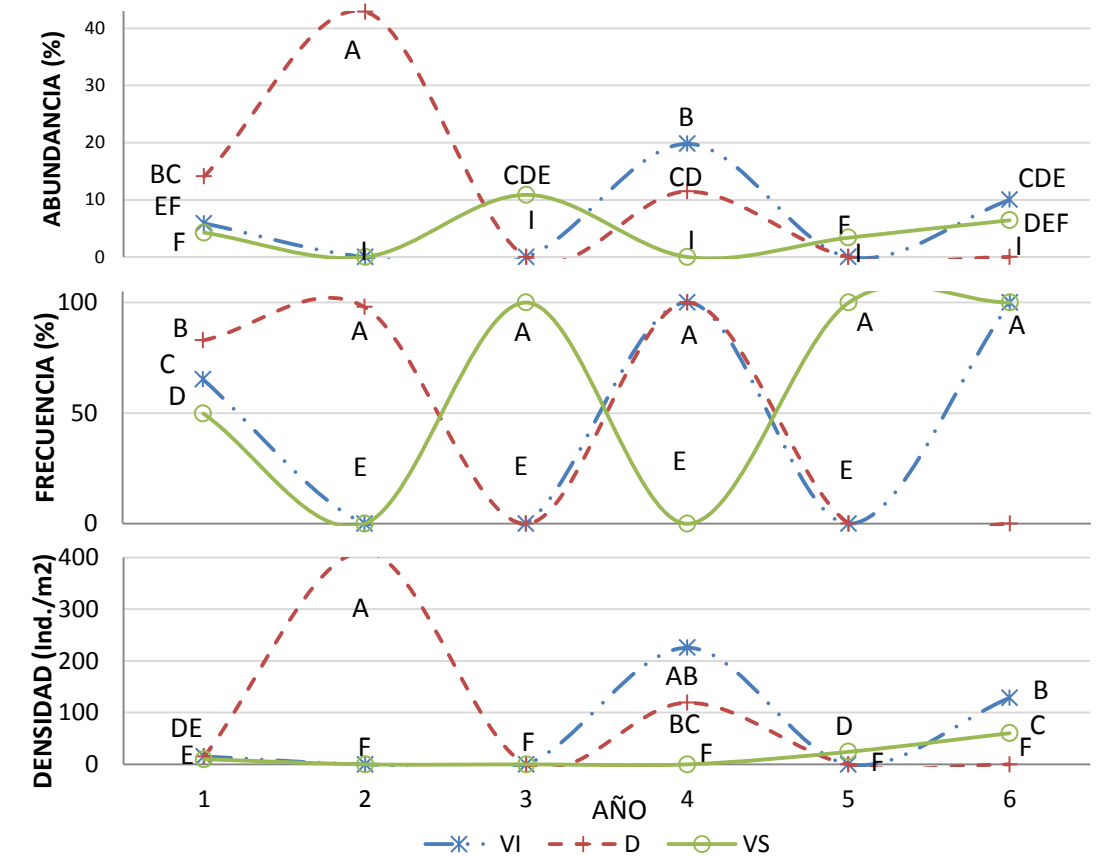


Figura 11. Evolución de los indicadores de composición para el grupo Pequeñas pratenses

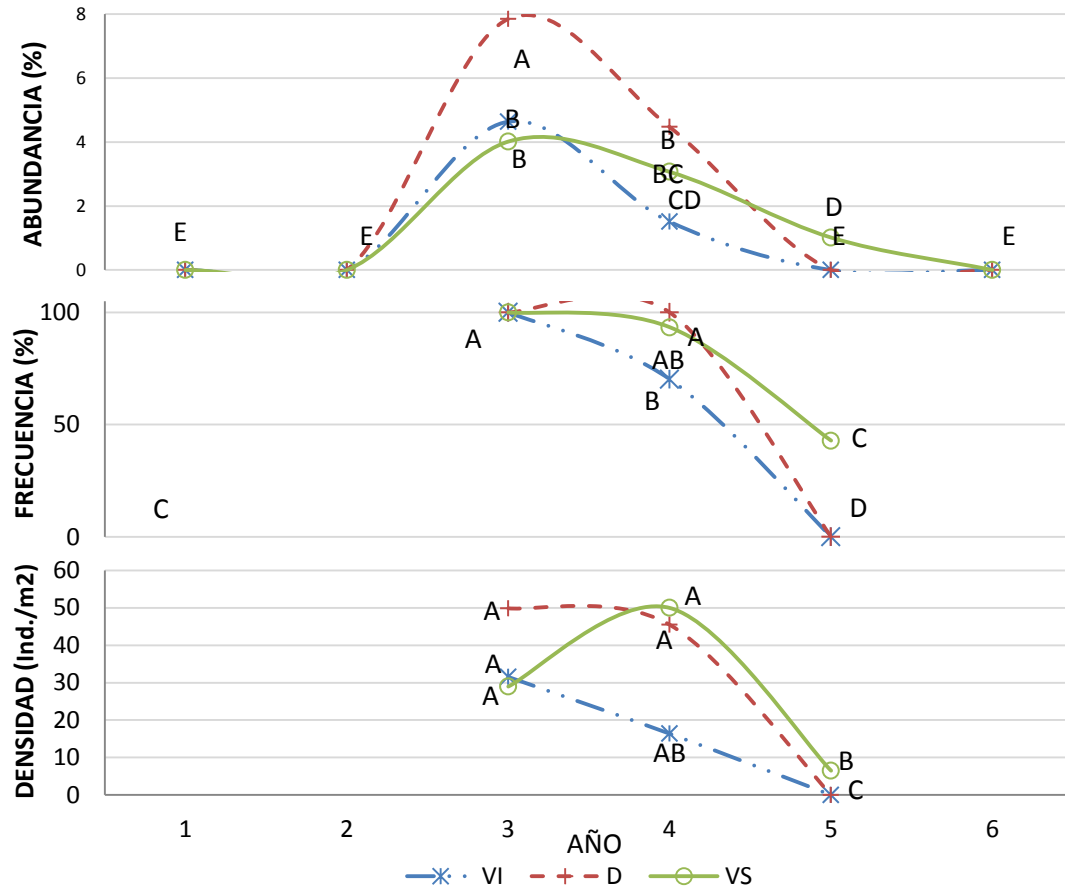


Figura 12. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Margaritas

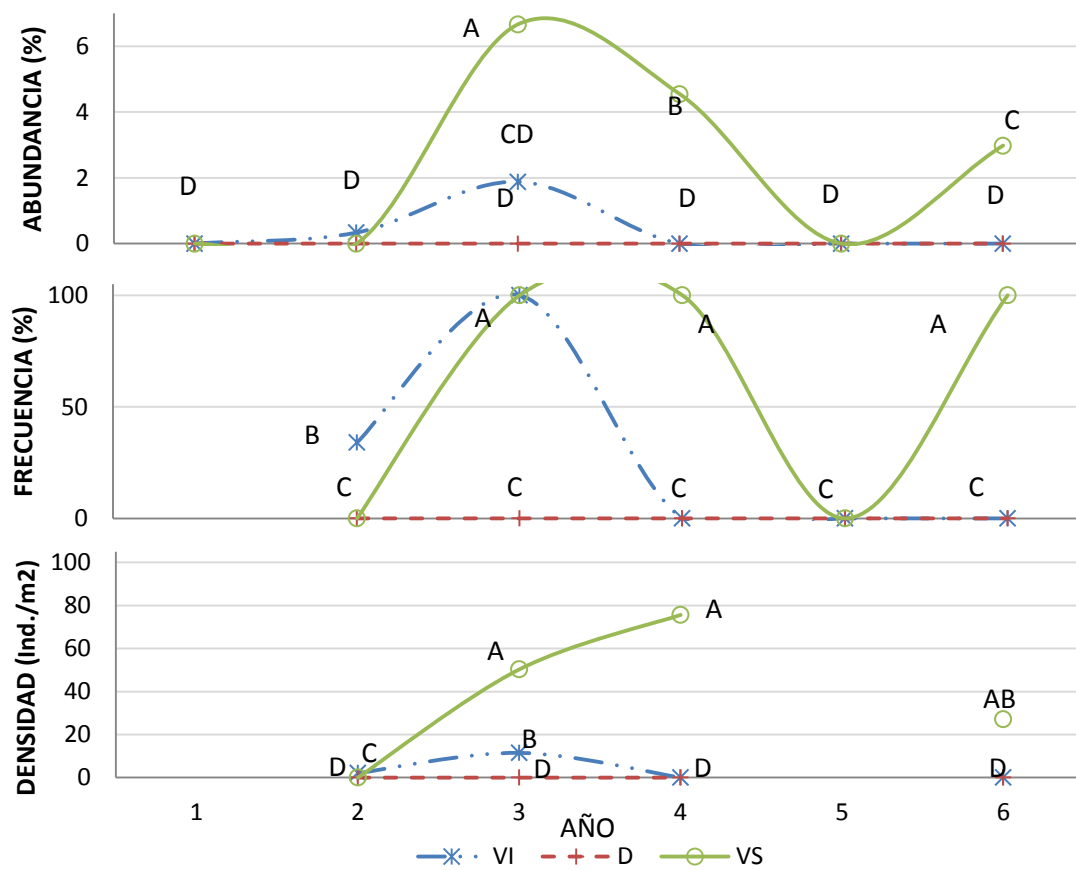


Figura 13. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Ruderal vernal

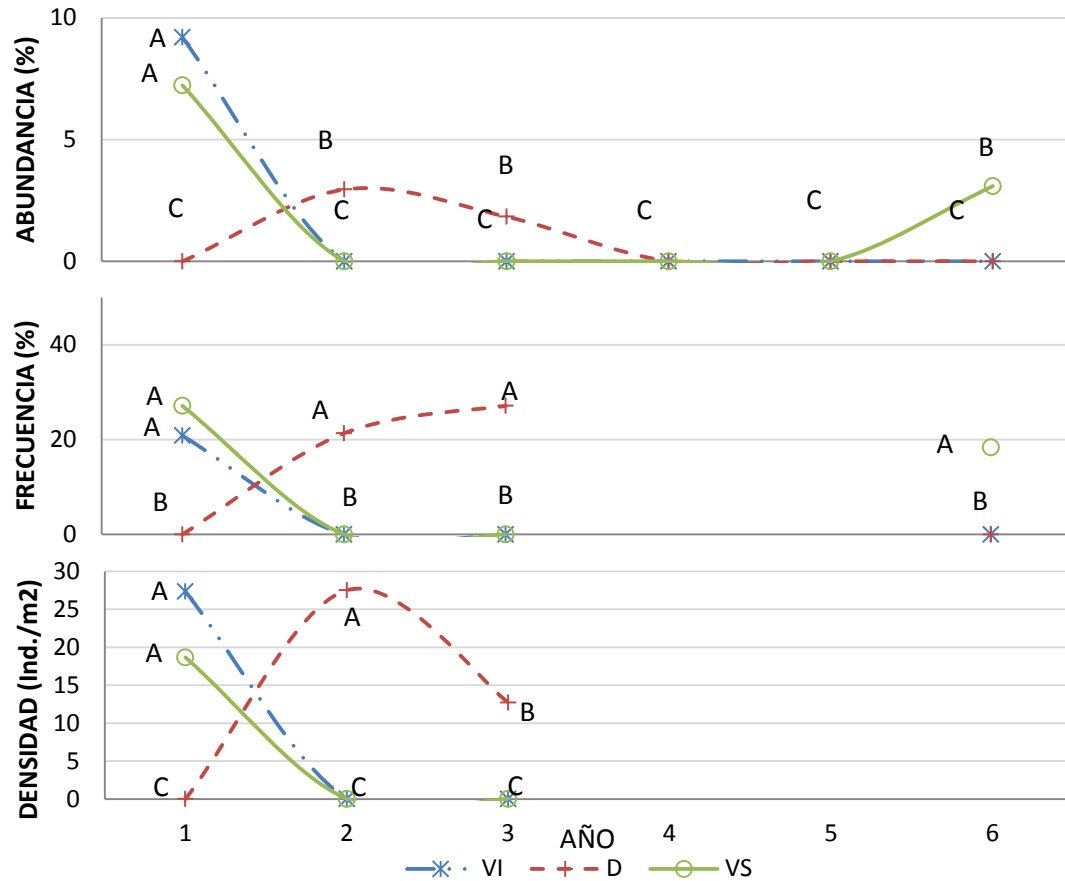


Figura 14. Evolución de los indicadores de composición para el grupo funcional Flor temprana

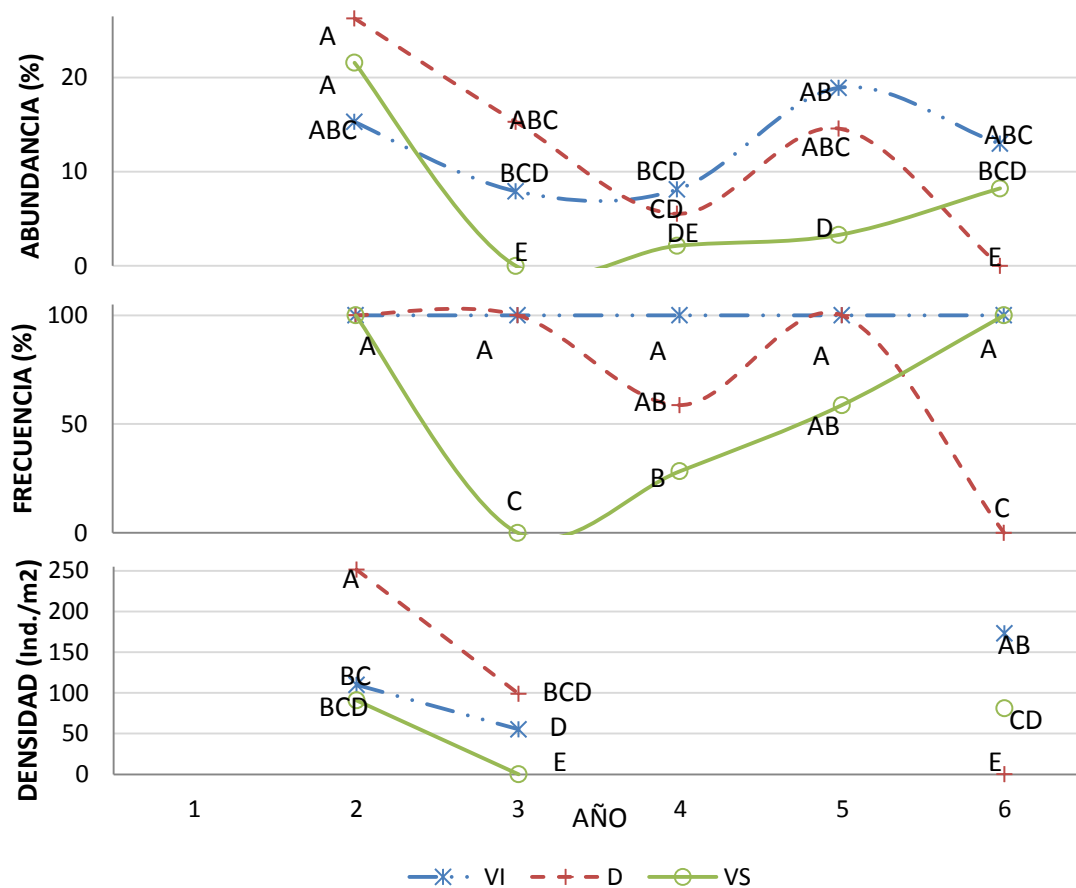
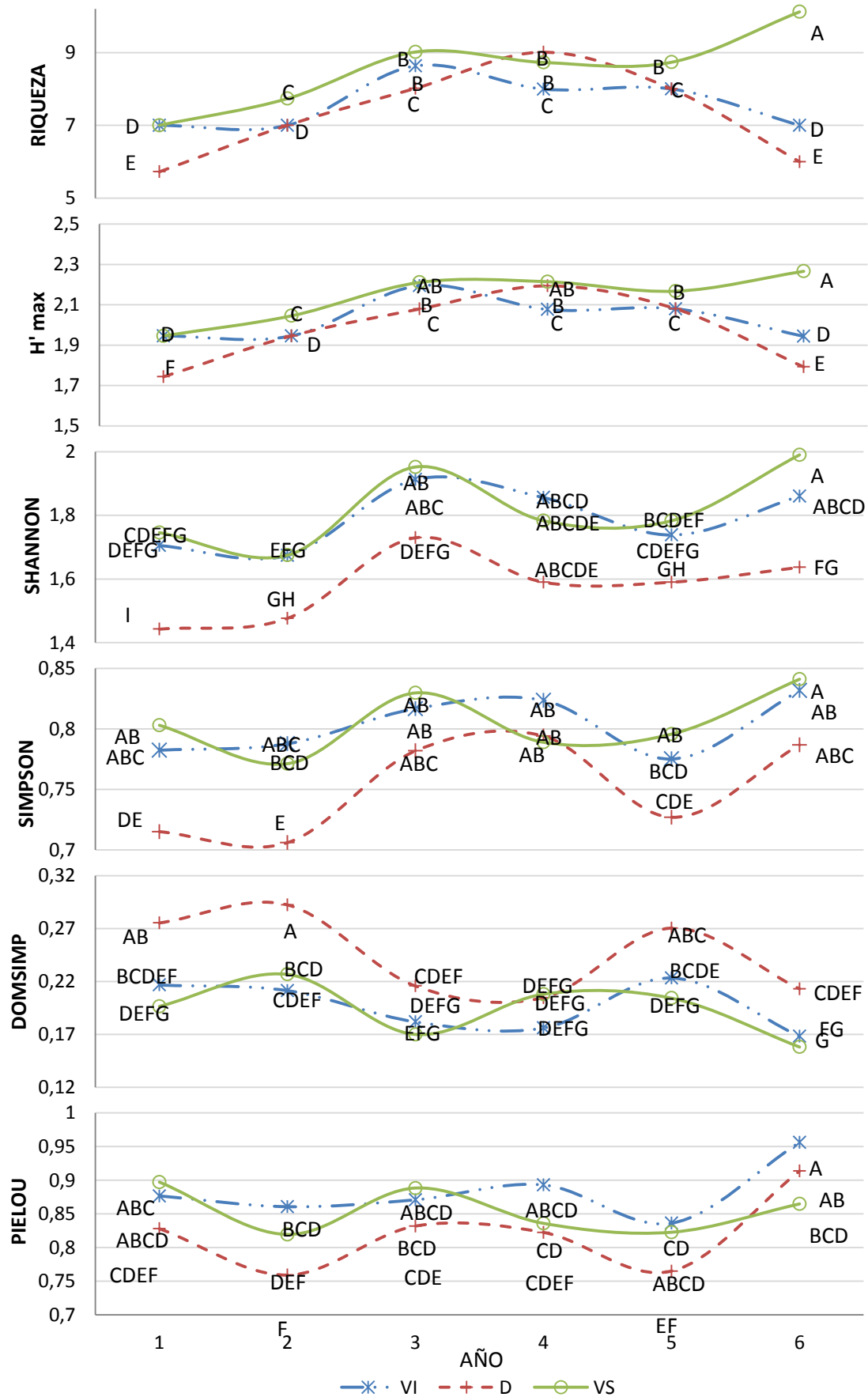


Figura 15. Evolución de los índices de diversidad, dominancia y equidad a nivel funcional (abril)



ANEXO 2.A. Tratamiento estadístico de los datos de humedad del suelo.

ANEXO 3.A. Tratamiento estadístico de los datos sobre propiedades físico-químicas del suelo, fertilidad y nitrógeno, valor nutritivo y fertilizante.

ANEXO 4.A. Tratamiento estadístico de los datos de productividad y rendimiento.

(Debido a la extensión de los anexos, su contenido se adjunta en el CD de la tesis doctoral).