



TÍTULO

EVOLUCIÓN DE MÉTODOS DE CONTROL AGROECOLÓGICOS PARA LA POLILLA DEL TOMATE *TUTA ABSOLUTA*

AUTOR

Felipe Toro Mejía

Asesores
Curso

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2012

Cesar Omat, Francisco Javier Sorribas Royo y Clara Inés Nicholls
Programa Interuniversitario Oficial de Posgrado en Agroecología: un
enfoque sustentable de la agricultura ecológica (IV)

© Felipe Toro Mejía

© Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

Evolución de métodos de control agroecológicos para la polilla del tomate *Tuta absoluta*

Presentado por:

Felipe Toro Mejía

Asesores:

Cesar Ornat ESAB-UPC

Francisco Javier Sorribas Royo ESAB-UPC

Clara Inés Nicholls Universidad de Berkeley

Proyecto final del IV POP: Máster oficial en Agroecología.

Un enfoque sustentable de la agricultura ecológica.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

CURSO: 2009-2010

DICIEMBRE 2010



Escola Superior d'Agricultura
de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Agradecimientos

En primer lugar quisiera expresar mi enorme agradecimiento al profesor Cesar Ornat, quien estuvo presente desde el inicio del proyecto. Sin el apoyo y tutoría desinteresados del profesor Ornat la realización del presente proyecto no hubiese sido posible.

Al grupo de protección vegetal-POCIO de la ESAB-UPC, por facilitarme las instalaciones y laboratorios necesarios para el desarrollo de las pruebas.

A la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB-UPC) por permitirme realizar el trabajo en sus instalaciones.

A los agricultores Ignaci y Patrici de fraga, por querer ser parte de este proyecto.

A Albert Torras por facilitarme las condiciones y los contactos para la obtención del material necesario para el desarrollo del proyecto.

Al agricultor Joan, agricultor del Prat del Llobregat, quien siempre estuvo dispuesto a abrirme las puertas de su cultivo.

A mi familia por ser siempre un apoyo, a pesar de la distancia.

Índice de contenido

1. INTRODUCCION.....	5
2. Objetivos.....	7
2.1 Objetivo General	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3. MARCO TEORICO	8
3.1 Revolución Verde.....	8
3.2 Conocimiento tradicional.....	11
3.3 Plagas y enfermedades en la agricultura	13
3.4 Medidas de manejo en la agricultura	14
3.4.1 Policultivos.....	14
3.4.2 Manejo cultural	18
3.4.3 Extractos.....	20
3.4.4 Control Biológico	22
3.4.5 Control químico	25
3.5 El cultivo del tomate y sus principales plagas	28
4. Metodología.....	33
4.1 Cultivo de tomateras	35
4.2 Inoculo de <i>Tuta absoluta</i> para los ensayos.....	35
4.3 Ensayo 1: Repelencia	36
4.4 Ensayo 2: Eclosión de huevos	39
4.5 Ensayo 3. Efecto sobre el desarrollo de las larvas.....	40
5. Resultados y discusion	42
5.1 Ensayo 1	42
5.2 Ensayo 2.....	44
5.3 Ensayo 3.....	46
6. Conclusiones	48
7. Anexos.....	49
8. Bibliografía.....	50

Índice de fotos

Foto 1 a.) Minas de larvas de <i>T. absoluta</i> . b.) Plantación de tomate severamente afectado.....	32
Foto 2 Ubicación del invernadero donde se capturaron individuos de tuta	35
Foto 3 Jaulas empleadas para mantenimiento en el laboratorio	36
Foto 4 Proceso de Filtrado	37
Foto 5 Diseño ensayo 1	38
Foto 6 Huevo de <i>Tuta</i> infectado	44

Índice de Figuras

Figura 1. Porcentaje de pérdida en EEUU y Centro América. Adaptado de Arauz, 1998.....	13
Figura 2 Ciclo de vida de <i>T. absoluta</i>	31
Figura 3. Etapas del ciclo de vida intervenidas	34
Figura 4 Esquema del montaje del ensayo de repelencia (ensayo1).....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 5. Comparativo entre tratamiento con extracto y testigo.	42
Figura 7. Promedio de puestas tomando en cuenta la ubicación.....	43
Figura 6. Esquema de ubicación de las plantas	43
Figura 8 Porcentajes comparativos según tratamiento.	45
Figura 9 Porcentajes comparativos entre tratamientos.	47

Índice de Tablas

Tabla 1. Ejemplo de enfermedades con consecuencias desastrosas	14
Tabla 2. Algunas de las plagas y enfermedades del tomate	29
Tabla 3. Duración de las fases del ciclo biológico de <i>T. absoluta</i>	30
Tabla 4. Valores de porcentaje de eclosión	44

1. INTRODUCCION

La producción ecológica de alimentos es una actividad que es cada vez más importante en el contexto global y debido al actual panorama mundial en los temas de ambiente, salud (tanto de productores como consumidores) y situación económica y social de los productores, este tipo de producción ha de convertirse en una prioridad y dejar de ser una actividad de algunos cuantos. Los productores ecológicos se ven enfrentados a varios retos a la hora de decidirse por este tipo de producción. Estos retos van desde la producción de los alimentos hasta la comercialización de los mismos. Las dificultades productivas de los alimentos ecológicos han de enfrentarse con técnicas que permitan que los alimentos producidos mantengan sus propiedades nutricionales así como unos niveles de producción aceptables y que las pérdidas en cada cosecha se mantengan por debajo del umbral mínimo aceptable y no afecten los ingresos de los productores. En algunos productores ecológicos, se ha visto una tendencia de emplear insumos producidos por las mismas empresas que producen los pesticidas químicos, tendencia que en parte se debe a la facilidad de obtener un insumo eficaz e inmediato, así como también a la falta de investigación y apoyo ofrecida por las entidades estatales de algunos países. Estas entidades, por el contrario, promueven en los productores ecológicos de alimentos el consumo de este tipo de insumo “verde” y subsidian transiciones a modelos ecológicos siempre y cuando el agricultor esté dispuesto a utilizar los paquetes tecnológicos de las nuevas “eco-transnacionales”. En esta situación, que tiene como objetivo generar alimentos con un menor coste ambiental, existen varias implicaciones que merecen consideración.

En primer lugar se está realizando una substitución de insumos. Se está pasando de insumos de síntesis química a insumos de síntesis biológica, lo que parece estar en coherencia con la defensa del medio ambiente. Sin embargo existen varios matices que son de gran importancia. Por mencionar algunos de ellos, basta decir que ambos insumos son producidos en laboratorios especializados que requieren una alta cantidad de energía para funcionar y que por lo general estos laboratorios se encuentran ubicados a

grandes distancias de las zonas de producción agrícola, lo que obliga a transportar estos productos a dichas zonas generando un aumento en las emisiones de gas carbónico a la atmosfera.

Por otra parte se están introduciendo, en algunos casos, organismos foráneos en ecosistemas bastante debilitados con el objetivo de controlar plagas y enfermedades. La historia ha mostrado que este tipo de inserciones si no se llevan a cabo cuidadosamente, pueden ocasionar en los ecosistemas un daño aún más grave que el que intentaban remediar.

Por último, pero no por eso menos importante, está la perpetuación de la dependencia de los agricultores a los insumos externos y en última instancia la dependencia de la producción agrícola a la industria del petróleo. Es así como los agricultores que optan por una producción ecológica, se ven inmersos en la misma situación de la cual deseaban salir.

Este escenario es claramente contradictorio con los planteamientos ambientales, económicos y sociales de la agroecología y es deber de los agroecólogos, desde las diferentes dimensiones de la agroecología, hacer aportes para remediar esta situación.

Es de esta forma como se propone la fabricación de insumos para el control de plagas a partir de recursos existentes en la zona de influencia local de los productores para contribuir a la gradual reducción de la dependencia de insumos externos, a la autonomía técnica, tecnológica y económica de los agricultores y a la producción ambientalmente sostenible de los productos agrícolas.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Establecer una estrategia de control de plagas basada en necesidades reales con recursos locales.

2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar métodos de manejo para *Tuta absoluta* que sean reproducibles con bajos niveles tecnológicos.
- Diseñar y probar, en condiciones de laboratorio, alternativas de control para el manejo de la polilla del tomate *Tuta absoluta*.

3. MARCO TEORICO

3.1 Revolución Verde

Los insumos químicos provenientes de la industria química del petróleo, empleados en la agricultura, empiezan a aparecer en los tiempos de postguerra de la II guerra mundial (Navon, A. 2000) y es en la década de los 60's cuando unidos a las semillas "mejoradas" y las técnicas intensivas de cultivo se combinan para dar inicio a la Revolución Verde

Esta "revolución" aparece en el entorno de los alimentos y la agricultura como solución para atenuar el hambre en el mundo y consistió en la obtención de variedades agrícolas muy productivas pero con el uso de tecnologías altamente dependientes y costosas; este incremento se ha conseguido, principalmente, sin poner nuevas tierras en cultivo, sino aumentando el rendimiento por superficie, es decir consiguiendo mayor producción por cada hectárea cultivada.

El mito de la Revolución Verde es más o menos así: *"Las semillas milagrosas de la revolución verde incrementan las cosechas de granos y por lo tanto son la clave para acabar el hambre en el mundo. Cosechas mayores, significan más ingresos para los agricultores pobres, ayudándolos a superar la pobreza, lo que significa menos hambre. Atacar las raíces que originan la pobreza, y que conducen al hambre, toma mucho tiempo, y la gente padece hambre ahora. Por lo tanto, debemos concentrarnos en lo que hace incrementar la productividad ahora. La Revolución Verde compra tiempo de los países del Tercer Mundo que desesperadamente necesitan abordar las causas sociales subyacentes que originan la pobreza, y por lo mismo deben reducir su tasa de fecundidad. En cualquier caso, un consultor externo que promueve la revolución verde no puede decir a un país la clase de reformas económicas y políticas que debe implementar, pero puede contribuir con su inmensa experiencia en la producción de alimentos. Aunque la Primera Revolución Verde pasó por alto a los más pobres, con tierras más marginales, podemos aprender las invaluable lecciones que esta nos dejó, para lanzar la segunda Revolución Verde para vencer la guerra contra el hambre de una vez y para siempre"* (Roset, 2004)

Desde los inicios de la agricultura como actividad humana, el mejoramiento de semillas ha estado a la orden del día. En ese entonces, al igual que ahora, este mejoramiento perseguía el mismo objetivo: aumentar la producción de las variedades cultivadas. Tradicionalmente las semillas se mejoraban por medio de un proceso natural y la intervención que el hombre tenía en este proceso, era la selección de dichas variedades basándose en las características que más le interesasen. Sin embargo las semillas “modernas” son más productivas por distintos factores. Dentro de estos factores se encuentran el uso de fertilizantes y pesticidas petroquímicos, sistemas de riegos intensivos y más recientemente modificación genética de las semillas. Estas prácticas de cultivo se difundieron rápidamente a nivel mundial gracias al apoyo de los Centros Internacionales de Investigación Agrícola creados por las Fundaciones Ford y Rockefeller (Sesiones teóricas Baeza 2009).

Para la década de los 70's, la revolución verde ya no era un concepto o idea vaga, sino una definición de un tipo de agricultura basada en monocultivos, fertilizantes, pesticidas e insumos derivados del petróleo y una agricultura que emplea la irrigación como forma de riego.

Desde la segunda guerra mundial, el control de plagas ha sido dominado por el uso de insecticidas de síntesis química. Estos insecticidas han sido bastante exitosos en el mercado y contribuyeron a la producción de alimentos y fibras, así como al control de varias enfermedades de importancia médica y veterinaria transmitidas por insectos (Navon, 2000). Sin embargo el uso de estos pesticidas no ha estado libre de problemas de diversa índole. Problemas tales como la resistencia adquirida (debido a aplicaciones repetitivas) de los insectos diana, eliminación de insectos beneficiosos y polinizadores y problemas de contaminación medioambientales, especialmente contaminación de aguas y degradación de suelos han hecho que desde hace varios años el uso de productos de síntesis química haya sido fuertemente cuestionado y puesto a consideración su uso generalizado.

En resumen, el modelo de agricultura que la revolución verde plantea, posee unos modos de actuar característicos que son: monocultivos, empleo de abonos y pesticidas de síntesis química, alto nivel de mecanización que a largo plazo genera problemas de compactación de la tierra, bajo empleo de mano de

obra local, alta dependencia de insumos externos y alta dependencia de energía proveniente del petróleo. Estas formas típicas de la revolución verde tienen consecuencias tanto a nivel económico, social y ambiental.

En términos ambientales, la transformación de un ecosistema en un agroecosistema cuyo núcleo es el monocultivo intensivo, supone una extrema simplificación del ecosistema inicial. De hecho, los agroecosistemas mundiales están constituidos por una docena de especies de grano, una veintena de especies hortícolas y unas treinta especies de frutales y frutos secos, lo que representa no más de 70 plantas que ocupan 1.440 millones de hectáreas de tierra cultivada que existen hoy en día en el planeta. Esta cifra es altamente contrastante con la diversidad de especies vegetales encontradas en una hectárea de selva tropical, que por lo general contiene más de 100 especies de árboles (Liebman, M. 1999). De las 7000 especies cultivadas que se utilizan en la agricultura, solo 120 son importantes a escala global. Casi un 90% de las calorías en el mundo provienen de unos 30 cultivos. Los monocultivos poseen temporalmente ventajas económicas para los agricultores, pero a largo plazo son bastante perjudiciales para el medio ambiente. La reducción drástica de la diversidad de plantas cultivadas ha puesto a la producción mundial de alimentos en mayor peligro que el que se encontraba antes de la revolución verde (Altieri, M.A 2007). La simplificación de los ecosistemas naturales alcanza su forma máxima en los agroecosistemas cuyo núcleo son los monocultivos unido a las prácticas de cultivos ya mencionadas. Estos agroecosistemas afectan el equilibrio ambiental de varias formas. En primer lugar al expandirse los monocultivos, se disminuyen los ecosistemas naturales lo cual genera una alta disminución de los hábitats naturales con implicaciones negativas directas para la biodiversidad. Por su parte las prácticas de cultivo, que se fundamentan en productos altamente tóxicos ocasiona graves daños a suelos y aguas, lo que genera una pérdida de especies salvajes y benéficas. Por último la homogenización de las variedades cultivadas, afecta directamente la variabilidad genética de estas especies y hace que el “pull” genético de las mismas sea bastante reducido, lo que pone en grave peligro la estabilidad del sistema agrícola mundial, al basarse en algunas pocas variedades que en cualquier momento pueden ser susceptibles a factores abióticos como el clima o a factores bióticos como las plagas o enfermedades. Evaluando este punto

desde la teoría de sistemas, resulta inminente el colapso del sistema agrícola productivo sino se aumentan los componentes básicos del mismo sistema, ya que la estabilidad estructural y funcional de un sistema como todo, aumenta al aumentar los componentes (subsistemas que lo conforman). Un ejemplo histórico de la vulnerabilidad de los monocultivos y las nefastas consecuencias que estos pueden tener, es la hambruna ocurrida en Irlanda en 1845 cuando a causa del patógeno *Phytophthora infestans*, la producción de patata cayó drásticamente lo que generó que el país perdiese, entre muertes por inanición y migración, un cuarto de su población (entre 2.000.000 y 3.000.000 de personas) (Rosset, P. 2004).

Por otra parte en términos sociales, la revolución verde al tener prácticas de cultivo bastante tecnificadas y dependientes de insumos externos limita, el acceso a estas tecnologías a unos pocos cuantos grandes terratenientes y convierte a los pequeños agricultores en peones de grandes explotaciones, en donde se encuentran trabajando en unas condiciones bastante incipientes .

Dentro de las consecuencias económicas de este modelo agroalimentarios y unido al hecho de que la producción, transformación y comercialización se encuentra centralizada en unas pocas manos y dirigida hacia unos cuantos países, está la monopolización del mercado agroalimentario con las implicaciones propias de los monopolios. Es así como la mayor concentración de alimentos se ve dirigida hacia el norte en donde se encuentra la menor concentración de población en términos globales, dejando a los países de la periferia el remanente de los productos alimenticios de calidad.

3.2 Conocimiento tradicional

En contraste con los modelos de la revolución verde están los modelos agrarios tradicionales, los cuales son mucho más antiguos y su efectividad ha sido ampliamente comprobada por las distintas civilizaciones que han pisado la faz del planeta. Actualmente existen, en el Tercer Mundo, remanentes de estos sistemas productivos. Una de las principales características de estas explotaciones tradicionales, es su grado de diversidad vegetal dada por las distintas especies cultivadas y la integración de patrones agroforestales en las explotaciones agrícolas. De hecho, la biodiversidad presente en las

explotaciones agrícolas tradicionales es comparable a la de los ecosistemas naturales. (Carson, R. 1962;). Comparativamente, los modelos de sistemas de producción agrícola tradicionales, son bastante más eficientes que el modelo de la revolución verde. La superioridad de los modelos tradicionales es debida, en buena parte, a la gran biodiversidad de dichos modelos y a su vez el diseño de estos favorecen la biodiversidad al interior del sistema productivo. Éste es un diseño en donde los ciclos son cerrados y no existen pérdidas de energía ni materiales. La biodiversidad de los agroecosistemas ofrece ventajas en la dieta alimentaria, la estabilidad de producción, la minimización de riesgos, la incidencia reducida de insectos y enfermedades, el eficiente uso del laboreo, la intensificación en la producción con recursos limitados y la maximización de los rendimientos con bajos niveles de tecnología (Altieri, M.A 2007;).

En cuanto a la diversidad genética de los sistemas tradicionales de cultivo, también existe una marcada ventaja con respecto a los modelos convencionales. Como se mencionó anteriormente, los sistemas convencionales son bastante homogéneos en cuanto a la composición genética se refiere, por su parte los sistemas tradicionales son bastante heterogéneos en su composición genética lo que les brinda una gran estabilidad y capacidad de resiliencia al momento de enfrentar situaciones extremas o de estrés. Un claro ejemplo de esto son los productores campesinos de los Andes, en donde en un solo terreno se pueden encontrar hasta 50 variedades de patatas diferentes (Comunicación personal productor Colombiano).

Adicionalmente en los sistemas agrícolas tradicionales de los trópicos, fácilmente se pueden encontrar más de 100 especies de plantas anuales y perennes, usadas para materiales de construcción, leña, herramientas, medicinas, forraje y alimento para consumo humano (Altieri, M.A 2007). A parte de los productos ofrecidos por los árboles de las explotaciones agroforestales tradicionales, los pequeños bosques típicos de estas explotaciones, prestan un servicio que muchas veces pasa inadvertido pero que es suma importancia. Se trata de la reducción de la pérdida de nutrientes y lixiviación de los suelos, al mismo tiempo que mantienen micro hábitats que favorecen la fauna silvestre, ayudando al control de plagas y a la polinización de cultivos.

3.3 Plagas y enfermedades en la agricultura

Tanto en ecosistemas agrícolas como en ecosistemas naturales las plantas son afectadas por enfermedades que reducen su productividad, su fecundidad y su sobrevivencia. En sistemas agrícolas estas reducciones a menudo se traducen en pérdidas económicas para los agricultores, precios más elevados para los consumidores, y en no pocos casos han resultado en ruina y hambruna en regiones enteras. Enfermedades como el tizón tardío de la papa, la moniliasis del cacao, el amarillamiento letal del cocotero, la roya del café, el cancro bacteriano de los cítricos y muchas otras han tenido consecuencias sociales y económicas desastrosas en regiones enteras en todo el mundo (Tabla 1). Aun en situaciones menos extremas que las mostradas en la tabla 1, las enfermedades poseen un importante impacto económico y social (Figura 1).

El impacto económico y social de las enfermedades ha atraído la atención del hombre desde tiempos inmemorables. Incluso en la Biblia se habla de enfermedades en cultivos, y se catalogan dentro de las peores calamidades de la humanidad: “Cuando en el país haya hambre o peste, o las plantas se sequen por el calor, o vengan plagas de hongos, langostas o pulgón...” (1 Reyes 8:37). A pesar de esta y otras referencias a enfermedades de naturaleza abiótica y biótica, no fue sino hasta el siglo XIX, a raíz de la hambruna que devastó a Irlanda como consecuencia del tizo tardío de la patata, que empezó el estudio científico de las enfermedades de las plantas, sus causas, su desarrollo y los métodos para combatirlas (Arauz, 1998).

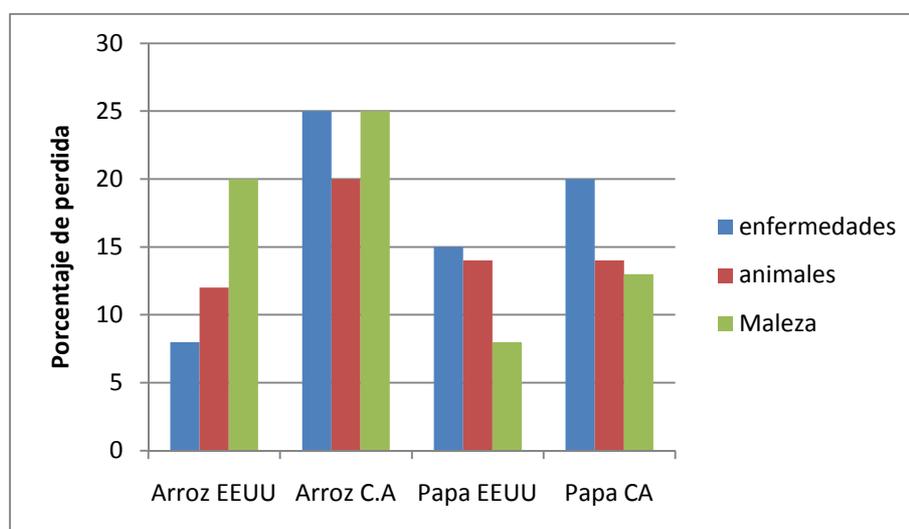


Figura 1. Porcentaje de pérdida en EEUU y Centro América. Adaptado de Arauz, 1998.

ENFERMEDAD	AGENTE CAUSAL	ESPECIE AFECTADA	REGION – AÑO	CONSECUENCIA
Sigatoka negra	<i>Mycospharella fijiensis</i>	Platano	Mesoamérica 1970-1980	Reducción considerable del área de producción de plátano
Roya	<i>Hemileria vastatrix</i>	Café	Sri Lanka-1870	Plantaciones de café reemplazadas por te
Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Papa	Irlanda-1845	Hambruna millones de muertes
Cancro bacteriano	<i>Xanthomona s podis</i>	Cítricos	EEUU- 1984	Extensas áreas de plantaciones destruidas
Moniliasis	<i>Moniliophthora roreri</i>	Cacao	Mesoamérica -1980	Grandes plantaciones de cacao destruidas y abandonadas
Declinamiento	Abiótico	Arboles de bosque	Europa Central-1980	Grandes áreas boscosas destruidas por lluvia acida
Mosaico dorado	Germinivirus	Frijol	Costa Rica-1990	Drástica disminución de la producción
Amarillamiento letal	Fitoplasma	Cocotero	Norteamérica y el Caribe-1980	Disminución en la población de palmeras

Tabla 1. Ejemplo de enfermedades con consecuencias desastrosas Fte: Cavalini, 1998

3.4 Medidas de manejo en la agricultura

3.4.1 Policultivos

El sistema de producción en policultivo, ha sido la forma de producción agrícola más extendida a lo largo de la historia de la agricultura como actividad humana. Esta forma de producir alimentos aun persiste en muchos lugares del mundo, especialmente en los llamados “países en vías de desarrollo” en donde los agricultores realizan sus siembras en combinaciones que, por ensayo y error, se han comprobado son adecuadas.

La gran diversidad de posibles especies combinables en una parcela productiva, refleja la enorme diversidad de especies con potencial agrícola que existen en la naturaleza. En las parcelas productivas de agricultores que emplean el policultivo se encuentran especie vegetales que suplen necesidades de alimentación, vestido, combustible, medicamentos, materiales de construcción, forraje y dinero. Las posibles combinaciones de cultivos son

infinitas. Se pueden combinar especies anuales con anuales, anuales con perenes, perenes con perennes, asociaciones de cereales y leguminosas etc.

Cualquier tipo de intervención agrícola en un ecosistema natural, representa una alteración en el mismo, sin embargo, las explotaciones agrícolas que tienen como núcleo policultivos, son agroecosistemas que poseen una estructura y una funcionalidad que se acerca a la de los ecosistemas naturales y por consiguiente tienden al estado de equilibrio que caracteriza a los ecosistemas naturales.

La forma de producción en policultivo, posee comparativamente, un gran número de ventajas con respecto a las recientemente emergentes explotaciones en monocultivo. Dentro de estas ventajas cabe destacar la biomasa producida, la estabilidad de esta producción, el uso de los recursos. Existen un gran número de ejemplos que ilustran que una misma porción de tierra cultivada con policultivos es bastante superior al equivalente en monocultivos. Por ejemplo 1981 Natarajan y Willey, encontraron que 0,94 hectáreas de monocultivo de sorgo (*Sorghum* spp.) y 0,68 hectáreas de monocultivo de guandul (*Cajanus cajan*) fueron necesarias para producir las mismas cantidades de sorgo y guandul (*Cajanus cajan* L. *Millsпах*) que se cosecharon en un policultivo de 1,0 hectárea, lo que significa que el rendimiento total del policultivo por unidad de superficie, fue 62% mayor que el comparado con el monocultivo (Liebman, M. 1999). Sumándose a esta superioridad productiva, se encuentra que la rentabilidad económica neta de los policultivos puede ser mayor que la de los monocultivos. En 1977 Norman estudio los sistemas de cultivos en el norte de Nigeria y encontró que cuando tomaba en cuenta en sus análisis el costo de mano de obra, la utilidad era de un 42% a un 142% mayor que el equivalente cultivo trabajado en monocultivo. Por su parte Leihner en 1983 notó que en Colombia se empleaba mayor cantidad de mano de obra para los policultivos de yuca/frijol que para un cultivo aislado de yuca, pero que el ingreso total neto de los policultivos era mayor. La superioridad productiva y económica de los policultivos comparados con los monocultivos, tiene en parte su explicación en la forma en que el sistema productivo emplea los recursos que el medio le ofrece.

El uso de una mayor proporción de luz, agua y nutrientes (captación de energía) y el uso más eficaz de una determinada unidad de recursos (conversión de energía), tienen tres consecuencias directas: complementación en el uso de los recursos, facilitación entre especies y cambios en la participación de recursos. El fenómeno de “complementación” en el uso de los recursos, se da cuando se siembran simultáneamente dos o más especies que por separado tienen un uso parcial de los recursos y al estar combinadas se crea una sinergia en el aprovechamiento de recursos. Esta complementación minimiza el traslape de nichos entre las especies asociadas, lo que disminuye al mínimo la competencia por recursos. En algunas zonas donde la disponibilidad de algún recurso es particularmente baja o de difícil acceso, el uso de policultivos maximiza el aprovechamiento de dicho recurso. Por su parte la facilitación interespecífica o facilitación entre especies, se hace presente cuando especies que crecen en policultivos pueden acceder a recursos que no podrían obtener en monocultivos. Un claro ejemplo de facilitación, es el caso de las leguminosas que ponen a disposición de otras plantas el nitrógeno atmosférico gracias a su asociación con rizobacterias que actúan como fijadoras de nitrógeno. Al combinar leguminosas con, por ejemplo, cereales se aprovecha la fijación de nitrógenos por parte de las rizobacterias no solo para la especie que posee la simbiosis (leguminosa) sino también para la especie herbácea (cereal). También se presenta el fenómeno de facilitación interespecífica cuando alguna especie, por lo general perenne modifica el ambiente, gozando las demás especies de mejores condiciones. Este es el caso del café cuando se asocia con especies forestales que le proporciona, entre otras cosas, de sombra que es fundamental para un buen desarrollo del grano. Por último, los cambios en la partición de recursos que se dan en los policultivos, se manifiestan en una mayor producción para el agricultor. Esto se debe a que el proceso de cambio en la partición de recursos aumenta el porcentaje total de nutrientes y materia seca que se fijan en la parte cosechable de los cultivos cuando estos se encuentran combinados. Cuando este fenómeno ocurre, cada unidad de materia y energía obtenida a través de la fotosíntesis o de la absorción radicular es aprovechada al máximo (Liebman, M. 1999).

Un rasgo importante de los sistemas productivos cuyo núcleo son los policultivos, es que el sistema tiene un gran número de componentes, algunos con funciones redundantes dentro del funcionamiento del sistema. Esto se traduce en una gran estabilidad productiva y una mayor capacidad de resiliencia del sistema productivo al momento de enfrentar sucesos externos como el ataque de una plaga o enfermedad o situaciones climáticas adversas.

Las características anteriormente mencionadas se refieren a las ventajas fisiológicas y ecológicas de los policultivos y las consecuencias que estas tienen para los agricultores. Sin embargo, existe una característica de los policultivos que puede considerarse la mejor carta que estos tienen y es el efecto que los policultivos tienen sobre los insectos plaga. En general las plagas son menos abundantes en policultivos que en monocultivos. Existen varios factores que contribuyen a la explicación a este fenómeno. En primer lugar está la mayor abundancia de enemigos naturales (depredadores y parasitoides) presentes en los policultivos. Andow (1991) luego de realizar una revisión de 209 publicaciones, señaló que el 53% de las especies que actúan como depredadores y parásitos de insectos plaga era más numerosa en policultivos que en monocultivos. Estos enemigos naturales mantienen los niveles poblacionales de los insectos plagas en niveles aceptables que no afectan la producción ni la rentabilidad del cultivo. Algunos factores que contribuyen a la presencia de enemigos naturales en los policultivos son, el incremento en la variedad y cantidad de fuentes de alimento, más y mejores hábitats y el incremento en la estabilidad dinámica de poblaciones de depredador-presa y parasitoide huésped. Otro factor que ayuda a la menor cantidad de insectos plaga en policultivos, es la hipótesis de concentración de recursos propuesta por Root en 1973 (en Liebman, M. 1999). Root plantea que *“las plagas de insectos, especialmente las especies con un limitado índice de huéspedes, tienen mayor dificultad para ubicar y permanecer en las plantas huéspedes en sembrados pequeños y dispersos que para hacerlo en cultivos grandes y densos”*. Es posible que estas dificultades estén asociadas a interferencias químicas y visuales que existen con las señales empleadas por los insectos para ubicar la planta huésped.

Otro aspecto importante de los policultivos en cuanto al manejo se refiere, es el efecto que estos tiene sobre las malezas o arvenses. El manejo de arvenses es una de las labores agrícolas que mayor mano de obra e insumos demanda. En general, la abundancia de arvenses en policultivos es menor que la abundancia en monocultivos. En 1993 Dyck y Liebman realizaron comparaciones de la presencia de malezas en monocultivos y policultivos encontrando que en el 59% de los casos es menor la abundancia de malezas en los policultivos.

En resumen emplear un sistema productivo diseñado en base a policultivos tiene una amplia gama de ventajas que van desde lo productivo-económico hasta lo ambiental-ecológico y que benefician la producción agrícola al tiempo que propician un modo de explotación sostenible.

3.4.2 Manejo cultural

El manejo de los diferentes agentes que atacan a los cultivos es casi tan antiguo como la historia de la agricultura, pues estos agentes causales de plagas y enfermedades son intrínsecos a las modificaciones sufridas en los ecosistemas que se transforman en agroecosistemas.

A lo largo de la historia se encuentran diversas estrategias de modificación de las condiciones ambientales de los agroecosistemas, que tienen como finalidad controlar los agentes causales de plagas, a esto se lo conoce control cultural o manejo cultural. Recibe este nombre porque es un conocimiento que esta, al menos en las zonas donde la agricultura es fundamental para la subsistencia, intrínsecamente unido a los códigos y prácticas culturales de un pueblo en particular y es transmitido, en la mayoría de los casos, de generación en generación. Las prácticas de manejo cultural han demostrado ser eficaces en el control de plagas y es por esto que han sido incluidas en programas de capacitación y asesoramiento que las entidades gubernamentales de algunos países ofrecen a los agricultores. Esto ha favorecido la conservación y sistematización de este conocimiento que de otra forma sería susceptible a sufrir una paulatina erosión y desaparición debido al abandono de los campos de cultivo por las generaciones más jóvenes.

Como se mencionó anteriormente, el control cultural consiste en manipular el medio ambiente, de tal manera que se torne desfavorable para las plagas, o

favorable para el establecimiento y acción de los enemigos naturales. Algunas de las técnicas que se han empleado para esto son la rotación de cultivos, la manipulación temporal de la siembra de los cultivos, técnicas para mejorar la biodiversidad como el cultivo intercalado y el uso de policultivos, el de las malezas tanto en el interior como en los bordes del campo cultivado, podas de aclaro etc. El objetivo final de estas prácticas es reducir la colonización inicial de las plagas, su reproducción, supervivencia y dispersión (Dent 1991).

Las rotaciones de cultivos, las épocas de siembra y el tipo de labranza son tres prácticas agronómicas que pueden afectar directamente el rendimiento de los cultivos así como el nivel de infestación de plagas en un cultivo. Normalmente, la rotación de cultivos es efectiva contra especies de plagas que poseen un margen estrecho de huéspedes y bajos niveles de dispersión. Cuando las plagas que se pretenden combatir son polífagas (amplio rango de huéspedes) o con niveles altos de dispersión, la rotación debe ser complementada con otras estrategias de control. El tipo de labranza por su parte, es una poderosa herramienta que afecta el suelo y la supervivencia de los insectos que allí habitan. Bien sea por un efecto indirecto al crear condiciones desfavorables para los insectos plagas o, por un efecto directo al causar daños físicos en huevos y larvas, la labranza es una estrategia bastante empleada en el medio agrícola. Es importante anotar en este punto, que por su gran poder la labranza puede convertirse en un arma de doble filo, pues al mismo tiempo que afecta negativamente a los organismos patógenos así mismo puede afectar de la misma manera a los organismos benéficos, razón por la cual es necesario tener prudencia a la hora de decidir emplear esta herramienta en un plan de control de plagas. Por último, adelantar o atrasar, dentro de los límites que el clima permita, las épocas de siembra de los cultivos pueden reducir la infestación de una plaga. Esto ocurre gracias a que el desajuste temporal en la siembra, genera una asincronía entre la fenología del cultivo y el insecto plaga, lo que puede verse reflejado en una colonización tardía o evitar la colonización en una etapa crítica del desarrollo fisiológico del cultivo. Esta estrategia es efectiva siempre y cuando los predios en los que se cultiva una misma especie vegetal la aplicasen, por lo que requiere de una sincronía entre los diferentes productores de una zona.

Estos son algunos ejemplos genéricos de técnicas de manejo cultural, sin embargo existen muchas más prácticas de manejo propias de cada zona que se adaptan a las características de los cultivos, el tipo de clima, las presiones de las plagas y los recursos existentes en cada región en particular.

3.4.3 Extractos

En el reino vegetal existen muchas especies que tienen la capacidad de repeler o tolerar el ataque de algunas plagas, ya que su constitución genética les permite fabricar sustancias químicas que en unión con las condiciones ambientales permite dicha resistencia. Cuando estas sustancias son extraídas de las plantas, bien sea por métodos altamente sofisticados como las extracciones con solventes orgánicos o destilaciones con diferentes sustancias empleadas como vehículo, o bien sea por métodos “artesanales” como la maceración en agua o alcohol, las sustancias químicas producidas por las plantas para su defensa quedan disueltas en el extracto y se pueden emplear en el manejo de plagas. El uso de extractos vegetales para el control de plagas agrícolas era una práctica ancestral, ampliamente utilizada en diversas culturas y regiones del planeta (Molina, N. 2001). En el imperio romano, por ejemplo, se conocían algunas sustancias provenientes de vegetales que se emplean en el combate de algunas plagas. Algunas de estas sustancias que aun hoy se siguen empleando en algunas regiones del globo son, la nicotina, el piretro, la rotenona, la sabadilla y la cuasina (Jacobson, 1988).

Dentro del reino vegetal existen una infinidad de especies vegetales que poseen propiedades plaguicidas y con potencial para obtener extractos a partir de estas especies. Según Jacobson (1988) las familias Meliaceae, Rutaceae, Asteraceae, Malvaceae, Canellacear y Lamiaceae son las que poseen un mayor potencial como plaguicidas. El empleo de extractos de plantas es una estrategia de control de plagas, que está al alcance de todos los agricultores de países tanto tecnificados como en vías de desarrollo, ya que la materia primara para la elaboración de estos se encuentra cerca o en los campos de cultivos y su elaboración no requiere un infraestructura muy tecnificada.

Los extractos vegetales se pueden emplear tanto para el manejo de plagas como de enfermedades. Existen diferentes reportes de extractos actuando

como nematocidas, anti fúngicos, insecticidas o incluso bactericidas. Villalobos (1999) realizó un sondeo de 57 especies vegetales propias del Mediterráneo, en busca de actividad insecticida contra *Tribolium castaneum*, coleóptero que afecta las cosechas de grano almacenado. En su estudio encontró que todas las especies probadas mostraron algún grado de actividad insecticida, en diferentes pruebas realizadas. Es así como algunas plantas mostraron actividad larvicida, otras un efecto de inhibición de ingesta de alimentos y algunas más mostraron ser letales para los adultos. Por su parte Álvarez y colaboradores (2001) han realizado reportes de la efectividad de extractos de crisantemo (*Chrysanthemum* spp) en el control de patógenos agrícolas. En sus estudios encontraron que el extracto reducía significativamente el desarrollo vegetativo de los patógenos, lo que disminuye su poder infectivo y el daño ocasionado en el cultivo. Otro ejemplo de la efectividad de los extractos vegetales en el control de patógenos agrícolas, es el caso de un producto bactericida elaborado a partir de semillas de cítricos empleado en Costa Rica por más de 10 años (Molina, N. 2001). En el caso de nematodos fitopatógenos, el extracto de higuera (*Ricinus communis*) se ha empleado exitosamente durante varios años en cultivos de flores ornamentales en la zona andina Colombiana. (Experiencia personal en manejo de plagas)

Los extractos vegetales no solo poseen propiedades de manejo de plagas, también existen extractos vegetales que han sido ampliamente utilizados por los agricultores durante toda la historia como fertilizantes líquidos, tal es el caso del extracto de ortiga que es de uso común en la fertilización de huertos caseros. Así mismos existen algunas plantas, como el romero (*Rosmarinus officinalis*) cuyo extracto tiene efecto herbicida y ha sido empleado como control de malas hierbas en la agricultura orgánica (Murillo, 2008).

Las características anteriormente mencionadas ligadas al bajo costo ambiental y económico y a las facilidades de elaboración y aplicación de los extractos vegetales, hacen que estos representen una excelente opción al manejo de los cultivos agrícolas.

3.4.4 Control Biológico

Los inicios del control biológico se pueden considerar con el éxito de la catarinita, *Rodolia cardinalis* para el control de la escama (cochinilla acanalada) *Icerya purchasi* Maskell en California. El término “control biológico” fue usado por primera vez por H. S. Smith en 1919, para referirse al uso de enemigos naturales (introducidos o manipulados) para el control de insectos plaga. Su alcance se ha extendido con el tiempo, a tal grado que ahora se presentan problemas para definirlo adecuadamente, en particular porque el término implica aspectos académicos y aplicados. (Rodríguez, 2007)

Sin embargo una definición acertada, mas no la única, es: “la acción de parásitos, depredadores o patógenos que mantienen poblaciones de otros organismos a un nivel más bajo de lo que pudiera ocurrir en su ausencia”. De acuerdo con Huffaker (en Rodríguez, 2007), la premisa del control biológico descansa en que bajo ciertas circunstancias muchas poblaciones son llevadas a bajas densidades por sus enemigos naturales. Este efecto se origina de la interacción de ambas poblaciones (plaga y enemigo natural), lo cual implica una supresión del tipo densidad-dependiente (Rodríguez, 2007); los organismos que ejercen el control, pueden verse afectados por factores abióticos, como temperatura, humedad, pH entre otros.

En la actualidad, en el sector agrícola se están implementando nuevos métodos de control biológico de plagas y enfermedades, de manera articulada con las estrategias culturales y químicas para incrementar la eficiencia productiva en las cosechas. Estos métodos deben cumplir niveles de calidad biológica y de respeto al medio ambiente, durabilidad, efectividad a bajas concentraciones, baja toxicidad, no patogenicidad contra la planta hospedera y compatibilidad con otros tratamientos (González, 1989).

Los bioformulados pueden ser organismos vivos, como esporas, bacterias, hongos, protozoarios insectos o nematodos, o sustancias producidas por estos organismos tales como proteínas, cristales, antibióticos, etc. Tanto los organismos vivos como sus secreciones, se utilizan para el control de plagas y enfermedades de todo tipo, ya sea bacterianas, virales, fúngicas, nematodos o roedores (Lorence, 1996).

Actualmente en el mercado, se encuentra un amplio grupo de bioformulados que se basan en organismos tanto fúngicos, como bacterianos o virales etc. ejemplos de ellos son: *Bacillus thuringiensis* con actividad tóxica hacia diversas plagas como lepidópteros, dípteros, coleópteros, nematodos, protozoarios, platelmintos y ácaros, (Lorence, 1996), otro organismo usado como bioformulado es el hongo del género *Trichoderma*, dentro de las distintas especies están; *T. viridae*, *T. harzianum*, *T. hamatum*, *T. konningi*, estos dos últimos son los más efectivos, incluso bajo condiciones extremas como las estaciones frías (González, 1989).

Para el desarrollo de una estrategia válida de biocontrol, se deben considerar las características ecológicas del patógeno o plaga y, del antagonista potencial a identificar, su biología y condiciones ecológicas así como su estado de desarrollo (Kohl et al., 1995; Baker et al., 1982). También es fundamental conocer la biología tanto de la plaga o patógeno como del organismo u organismos que fuesen agentes potenciales de control, para así determinar el momento del ciclo de vida de plaga/patógeno/organismo control en el que es más efectiva la acción de control.

Es de resaltar que es muy importante conocer las condiciones ecológicas necesarias para un buen desempeño del biocontrolador, para no malograr un organismo al liberarlo en un ambiente que no es el propicio para su ciclo biológico.

3.4.4.1.1 Modo de acción hongos y nematodos entomopatógenos

Los hongos entomopatógenos han cobrado gran importancia en los últimos años, debido a su efectividad en el control de plagas y a su relativamente fácil formulación. La facilidad en la formulación de los hongos, se debe a la formación natural por parte de estos microorganismos de estructuras de resistencia llamadas esporas, las cuales les confieren entre otras propiedades resistencia a la deshidratación lo que es una gran ventaja a la hora de formular un bio-insecticida. Las esporas una vez liberadas en el medio, se rehidratan y se activan generando, en el caso que se encuentre el sustrato adecuado (huevos, larvas, pupas o adultos de insecto plaga), la germinación del hongo.

Una vez iniciado este proceso de germinación, la fase del ciclo de vida (huevo, larva, pupa o adulto) del insecto atacado sufre una alteración en su desarrollo, lo que genera una interrupción en el normal desarrollo del ciclo de vida y termina por romperlo. En el caso de los hongos entomopatógenos, existen diferentes mecanismos de acción dependiendo de la fase atacada. En el caso de la afectación a las puestas, las hifas del hongo colonizan la superficie del huevo alimentándose de este y terminan por evitar la eclosión. Si por el contrario la afección se presenta en pupas, larvas o adultos el hongo inicia el proceso infectivo cuando las esporas son retenidas en el integumento, en donde se da la formación del tubo germinativo lo que, por medio de la secreción de enzimas quitinolíticos, inicia el proceso infectivo. Una vez las hifas han penetrado al interior del insecto, la degradación de las estructuras de este es solo cuestión de tiempo; dependiendo de las dimensiones del insecto y el estado de sus defensas de las características infectivas del hongo este último terminara por causar la muerte del insecto en un periodo entre 3 y 15 días. (Díaz, P. 2006)

Por su parte los nematodos entomopatógenos, le deben su capacidad patogénica a bacterias simbiotas (*Xenorhabdus*, *Photorhabdus*, entre otras) que portan en su interior. El nematodo penetra por algún orificio natural en el hemocele del organismo huésped y libera la bacteria simbiota que llevan en su interior la cual comienza el proceso infectivo. El nematodo a su vez secreta metabolitos que inhiben el metabolismo del insecto lo que permite que el simbiota se desarrolle. Las toxinas excretadas por el simbiota son bastante contundentes y llegan a matar el insecto en un lapso de 1 a 3 días. La figura 2 muestra el ciclo de vida general para los nematodos entomopatógenos.

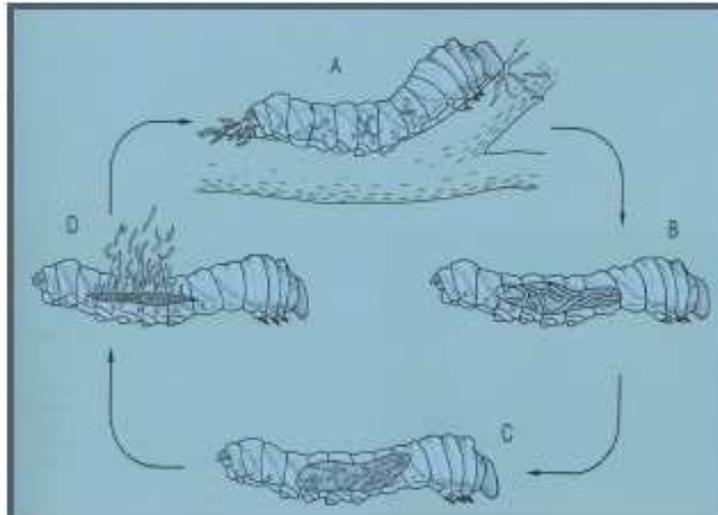


Figura 2. Ciclo infeccioso básico de nematodos. A: Localización y penetración de las formas juveniles infectivas en el hospedador. B: Primera generación de adultos. C: Sucesión de generaciones. D: Salida de nuevas formas infectivas (tomado de Juaneda)

3.4.5 Control químico

El control químico o manejo convencional es, como se mencionó anteriormente, la forma típica de enfrentar plagas y enfermedades en la agricultura convencional o de la revolución verde. El manejo convencional de plagas y enfermedades emplea sustancias químicas, denominadas pesticidas o plaguicidas como herramienta de control. Los plaguicidas reciben diferentes nombres específicos dependiendo del agente causal que ataquen; insecticidas para los insectos, acaricidas para ácaros, nematicidas para nematodos, fungicidas para hongos etc.

La era de los plaguicidas modernos en la agricultura, se inició inmediatamente después de finalizada la Segunda Guerra Mundial y los avances tecnológicos implicados en la fabricación de estos productos químicos, son los remanentes de la tecnología empleada en la fabricación de armas químicas durante la guerra. Un ejemplo de esto, son el Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) y el hexacloruro de benceno (BHC). Estas dos sustancias descubiertas en 1939 y 1942 respectivamente, fueron empleadas para combatir insectos vectores que transmitían virus letales a las tropas aliadas. Su uso se extendió rápidamente al combate de plagas agrícolas e insectos que atacan al ganado y un par de años más tarde su uso se había generalizado en casi todos los países del mundo (Cisneros, F. 2005). Este fenómeno de expansión en el uso de los pesticidas

fue causado por dos razones principales, la primera de ellas fue la abundancia de “materia prima” existente en la época de la postguerra y la segunda la crisis de las cosechas que por entonces se estaba presentando debido a la implementación de los monocultivos. Los resultados obtenidos en los primeros años del uso de los plaguicidas, parecieron bastante alentadores ya que reducían el ataque de plagas al tiempo que aumentaban los rendimientos productivos de los diferentes cultivos. Durante esta época, se llegó incluso a especular con la completa erradicación de las principales plagas agrícolas a nivel mundial.

Desafortunadamente después de cuatro décadas de haber comenzado con el uso de los pesticidas y de poner en ellos todas las esperanzas, se puede comprobar que los problemas de plagas no han desaparecido y, que por el contrario, en la mayoría de los casos se han empeorado. Esto se debe a que los promotores de los pesticidas químicos, no tuvieron en cuenta varios factores inherentes al uso de estos productos. Uno de estos factores que es el responsable de la grave situación fitosanitaria de algunos cultivos, es la resistencia adquirida por parte de las plagas. Esta resistencia se debe a la aplicación ininterrumpida de los pesticidas, que luego de varios ciclos de aplicaciones, genera un efecto de selección en las poblaciones de los insectos plagas, favoreciendo a los individuos que presentan resistencia a la acción letal del componente activo del pesticida, lo que termina por transformar a toda la población en una población resistente al pesticida. En la mayoría de los casos la estrategia que el control químico propone para combatir esta nueva población resistente, es el empleo de un pesticida con un mayor grado de toxicidad. Esto remedia temporalmente la situación pero al cabo de un tiempo, cada vez menor, termina por seleccionar nuevamente los individuos resistentes y crear una nueva población resistente.

Dentro de estas prácticas de control, existen unas consecuencias colaterales que tampoco han sido tenidas en cuenta por los investigadores que promueven el control químico. Estas consecuencias son los graves daños que sufre la fauna nativa del lugar en donde se lleva a cabo el control químico y en especial los enemigos naturales de las plagas, que al ser insectos también se ven afectados por los insecticidas empleados. La desaparición de los enemigos

naturales produce dos fenómenos: la rápida resurgencia de la plaga y la aparición de nuevas plagas. La reaparición de la plaga, se debe a la eliminación de los enemigos naturales de esta, que aunque no estaban presentes en una densidad suficiente para mantener la plaga en niveles bajos, ejercían un cierto grado de control. Una vez desaparecido el efecto del insecticida y con la ausencia del control de los enemigos naturales, la población plaga se incrementa velozmente. Por otra parte, la aparición de nuevas plagas es consecuencia de la eliminación de los enemigos naturales de las otras especies fitófagas, a las que mantenían en niveles relativamente bajos. Sin este control natural, las poblaciones de insectos, que antes no tenían importancia económica se incrementan y alcanzan niveles de plaga.

Otra consecuencia colateral del control químico y que se está convirtiendo en un grave problema a nivel mundial, es la generación de residuos altamente tóxicos y la contaminación ambiental producida por el uso de esos productos. La contaminación ambiental está llegando a niveles realmente críticos ya que los componentes activos de los pesticidas son fácilmente transportados por el agua y el viento y su poder insecticida queda activo durante varios meses e incluso años. En varios países del mundo se han presentado casos de contaminación de acuíferos (Garrido, T. 1998) y cuencas hidrográficas que proveen de agua potable a poblaciones humanas (Polo, M. 2001). Dicha contaminación está causando graves problemas de salud en poblaciones humanas, generalmente de países empobrecidos donde las medidas de control son bastante precarias (Gómez Álvarez, L.E. 2007). Sin embargo los problemas generados por la contaminación de pesticidas no solo afectan a los países empobrecidos. La persistencia de los productos químicos empleados en la agricultura, permanece en los productos de cosecha, es así como a las mesas de la mayor parte de la población mundial están llegando alimentos con pequeñas cantidades de sustancias tóxicas que, ingeridas periódicamente, pueden ocasionar graves problemas a la salud.

A pesar de todas las evidencias que existen sobre los problemas que generan los productos químicos empleados en la agricultura, existe una inercia que evita poner estos productos en desuso de forma inmediata. Sin embargo,

debido a la contundencia de los problemas antes mencionados, se comienza a apreciar, en el sector agrícola, una tendencia hacia la implementación de prácticas de cultivo más acordes con los principios de la agroecología.

3.5 El cultivo del tomate y sus principales plagas

El tomate (*Lycopersicon esculatum*), es una fruta, considerado por muchos como hortaliza, que pertenece a la familia de las solanáceas, en donde se encuentran la patata, el pimiento, la berenjena y otras tantas especies de importancia alimenticia. El tomate es originario de Suramérica, más concretamente de la región andina (Rodríguez, R 2001), aunque posteriormente fue llevado por los pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente.

Aun hoy en día, se encuentran variedades de tomate silvestres en algunas zonas, y son precisamente estas variedades las que se emplean en investigaciones para mejorar las características del tomate en cuanto a resistencia. De hecho, estas mejoras ya eran realizadas por los nativos de Sur y Centroamérica, quienes en su avanzado conocimiento de las distintas especies vegetales que existían en su territorio y empleando sofisticadas técnicas de selección y cruzamiento lograron variedades nuevas con mejores rasgos tales como un mayor tamaño de fruto y resistencias que van desde condiciones climáticas y edafológicas hasta resistencia a algunas plagas. Incluso, parece ser, que estas variedades mejoradas fueron las que el colonizador Hernán Cortés conoció a su llegada a México y que posteriormente importó a Europa (Nuez, F. 2001).

El nombre tomate deriva de la lengua nahuac “*tomatl*” que quiere decir fruto redondo.

Hoy en día el tomate, debido a su valor culinario, es una de las especies más cultivadas y consumidas en todo el mundo. Los principales productores de tomate en el mundo son China, EUA, con una producción de 31,6 y 12,7 toneladas respectivamente (Babbitt, S. 2006). Las altas cantidades de tomate que se producen en el mundo, requieren grandes extensiones de tierra dedicadas a este cultivo lo que trae consigo un gran número de problemas en

cuanto a plagas y enfermedades se refiere. En la tabla 2, se listan las principales afecciones del tomate y los métodos más comunes para su manejo.

Nombre	Síntomas	Tratamiento
Afidos	Marchitamiento y decoloración de hojas	Enemigos naturales. Prácticas culturales. Insecticidas
Paratrioza <i>(Paratrioza cockerelli)</i>	Transmite fitoplasmosis	Control Biológico.
Araña roja <i>(Tetranych usurticae)</i>	Marchitamiento del follaje	Control de malezas luego de cosecha.
Mosca Blanca <i>(Bemisia tabaci)</i>	Succiona savia Decoloramiento de hojas. Atrae hongo (<i>Cladosporium sp</i>) Vector de varios virus	Control Biológico Insecticidas.
Minador de la hoja <i>(Liriomyza sativae)</i>	Enroscamiento de las hojas	Pequeñas densidades: Prácticas culturales. Insecticidas
Meloidogyne <i>incognita</i>	Afectan las raíces	Variedades resistentes. Desinfección del suelo
Cáncer Bacteriano <i>(Clavibacter michiganensis)</i>	Marchitamiento de hojas. Afectan sistemas vasculares	Prácticas culturales: Selección semillas sanas Eliminación plantas infectadas Desinfección suelo

Tabla 2. Algunas de las plagas y enfermedades del tomate

3.5.1 Tuta absoluta

La polilla del tomate, *Tuta absoluta* fue descrita originalmente en 1917 por Meyrick como *Phthorimaea absoluta*, basándose en colectas realizadas en Perú. Luego esta peste fue reportada como *Gnorimoschema absoluta*, *Scrobipalpula absoluta* o *Scrobipalpula absoluta* y finalmente fue descrita bajo el género *Tuta* como *T. absoluta* por Povolny en 1994. (Desneux, N. 2010).

El ciclo de vida (Figura 3) de este lepidóptero consta de 4 estados: huevo, larva, pupa y adulto. Las hembras fecundadas ponen los huevos, generalmente, en el envés de la hoja. Las puestas son en promedio de 50-60 huevos pudiendo llegar hasta los 200 huevos. Luego de eclosionar, las larvas establecen minas en el mesófilo de los folíolos del tomate y es allí en donde se alimentan y desarrollan. Las larvas pasan por cuatro estadios larvarios, y es al final del último estadio que se descuelgan por medio de un hilo de seda de la planta al suelo y allí forman la pupa. La tabla 3 muestra la duración de las fases en función de la temperatura.

	Huevo	Larva	Pupa	Adulto
30 °C	4	11	5	9
15 °C	10	36	20	23

Tabla 3. Duración de las fases del ciclo biológico de *T. absoluta*. Tomado de Montserrat Delgado, A

La actividad de la polilla es principalmente nocturna, y normalmente los adultos permanecen ocultos durante el día, mostrando un pico de actividad en las horas crepusculares.

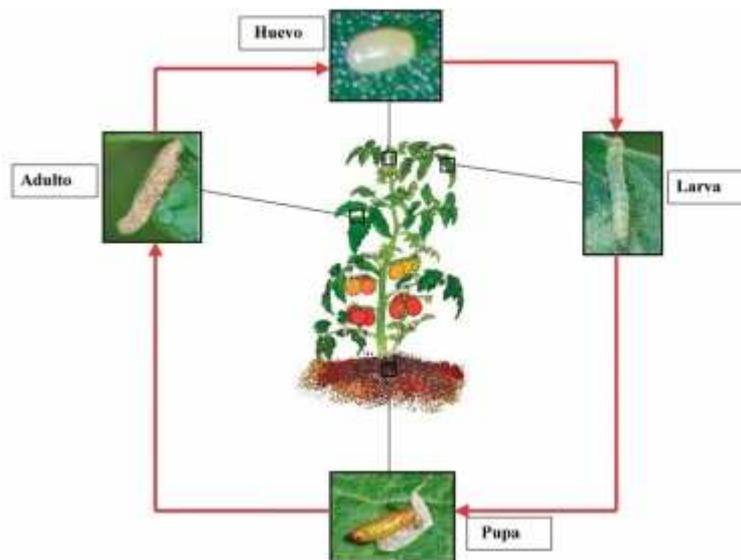


Figura 3 Ciclo de vida de *T. absoluta*

La plaga está muy extendida en Suramérica y se encuentra distribuida en todo el continente concentrándose en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay y Venezuela. En Suramérica no aparece por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar, lo que ayuda a su control.

La *Tuta*, aparece en España en la región de Murcia a principios del otoño del 2007 (Montserrat Delgado, A. 2009). El proceso de invasión biológica consta de 3 etapas: llegada, establecimiento y dispersión (Mack, R.N. 2002). Se cree que la plaga llegó a Europa por medio del comercio de alimentos entre el continente Europeo y los países de Suramérica en donde se encuentra presente la plaga. A su llegada a al sur de España, la plaga encuentra una excelente zona para su asentamiento y afecta numerosos cultivos de tomate en invernadero. Al siguiente año, la plaga es reportada en las principales zonas de cultivo de tomate en la zona costera de España y las poblaciones de *T. absoluta* alcanzan niveles que generan pérdidas económicas. Para los años de 2008 y 2009, existen reportes de *T. absoluta* en Italia, el sur de Francia, Grecia, Portugal, Marruecos, Algeria y Tunisia (Pottin, 2009).

Los daños ocasionados por *T. Absoluta*, son generados por las larvas que se alimentan del mesófilo de los folíolos y de los frutos. Las minas (Foto 1a) generadas por las larvas disminuyen la actividad fotosintética al disminuir el área foliar destinada a este fin, pueden favorecer también infecciones fúngicas y bacterianas lo que incrementa el daño para la plantación y en altas

densidades de la plaga pueden llegar a destruir una plantación de tomate en pocos días (Foto1b).



Foto 1 a.) Minas de larvas de *T. absoluta*. b.) Plantación de tomate severamente afectado

Las medidas de control empleadas para el manejo de esta plaga van desde prácticas culturales como el cerramiento de las plantaciones de toma, la desinfección de pupas del suelo, pasando por el control químico tradicional y el control biológico. Este último ha sido bastante empleado en Suramérica en combinación con las prácticas culturales, obteniéndose resultados económicamente aceptables (Caffarini. 1999).

4. METODOLOGÍA

Se selecciono la polilla del tomate (*Tuta absoluta*) como plaga a tratar debido a su creciente importancia como factor limitante en la producción de tomate en la península. Dos agricultores -Ignaci y Patrici- que componen una sociedad productora, se mostraron abiertos a la propuesta de trabajo y fue con ellos con quien se estableció el plan de acción. Luego de haber contactado con Ignaci y Patrici, y de establecer las condiciones para la realización de la investigación, se realizo una vista a la finca, en donde se llevo a cabo una entrevista informal obteniendo la información acerca del factor limitante en la producción de tomate. La entrevista fue a modo de conversación permitiendo que los entrevistados se sintieran en total libertad de expresar sus opiniones sin ceñirse a ningún tipo de cuestionario preestablecido. El plan de trabajo que se estableció, consta de dos grandes bloques. El primero de ellos es la experimentación en laboratorio (presente trabajo), en donde se realizaron pruebas de viabilidad *in vitro* de diferentes posibilidades de manejo de la polilla del tomate. Es importante resaltar que las estrategias que se evaluaron (extractos vegetales, hongos entomopatógenos y nematodos entomopatógenos) son realizables de manera “artesanal” con un nivel básico de tecnología, esto con el fin de cumplir uno de los principales objetivos del trabajo que es, brindar a los agricultores herramientas sencillas, económicas y efectivas que estén al alcance de sus posibilidades.

En el segundo gran bloque del trabajo se plantea la evaluación en campo de las estrategias con mejores resultados en el laboratorio. Para cumplir con esta fase del trabajo, es indispensable contar con el apoyo de instituciones comprometidas con estos objetivos.

Los agricultores -Ignaci y Patrici- son completamente conscientes, que durante la primera fase del trabajo no se realizará ninguna prueba en campo y por ende no habrá ningún cambio en los métodos de manejos actuales. También tienen la confianza que instituciones locales apoyen la segunda fase del trabajo y que los resultados se puedan obtener a un medio plazo.

Se pretendió abordar la problemática de la *T. absoluta* de una manera general; interviniendo en tres de los cuatro estadios bien diferenciados de su ciclo de

vida (Figura 4). En primer lugar se intervino la etapa adulta buscando que las hembras fecundadas no realizaran las puestas sobre las plantas de tomate (Ensayo 1). Posteriormente se intervino el desarrollo de los huevos intentando evitar la eclosión de los mismos (Ensayo 2). Por último se intervino sobre el estadio larval de la polilla aplicando agentes que eviten su desarrollo: extractos vegetales y nematodos entomopatógenos (Ensayo 3). Este abordaje ayuda a garantizar cierta efectividad en los métodos de control ya que no se centra en un único estadio del insecto. De esta manera la población inicial, representada por la puesta de huevos (los que hayan superado la primera estrategia de control), será reducida con la estrategia de reducir la viabilidad de los huevos, al disminuir el porcentaje de eclosión. Por último, las larvas provenientes de los huevos que superan este segundo método de control, se controlaran empleando la tercera estrategia, evitando así su desarrollo a adultos e impidiendo cerrar el ciclo vital de la polilla con una nueva puesta de huevos. Es importante anotar que las estrategias de control que se proponen, no pretenden erradicar completamente la población de *T. absoluta*, sino mantenerla en unos niveles que no sobrepasen los umbrales de daño económicos, que garantizan una rentabilidad económica para los productores.

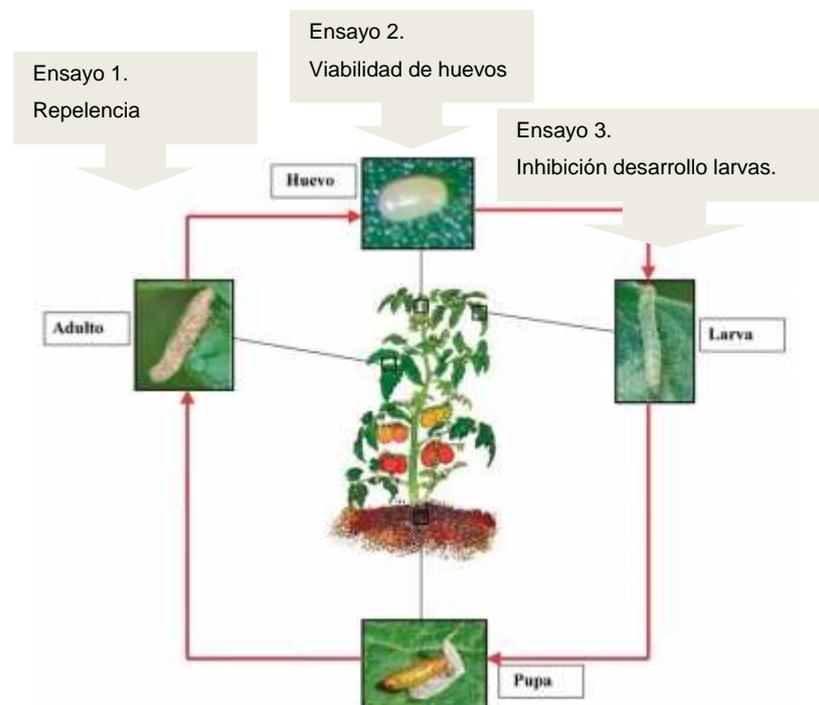


Figura 4. Etapas del ciclo de vida intervenidas

Para la crianza de los individuos de *Tuta* en laboratorio, se emplearon jaulas de 50 x 50 x 80 cm con cuatro plantas de tomate cada una (Foto 3)



Foto 3 Jaulas empleadas para mantenimiento en el laboratorio

Las larvas y los huevos se trasladaron a las tomateras, previa inspección a la lupa, de la vitalidad de las larvas y el estado de los huevos. En cada jaula se introdujeron de 8 a 10 larvas y/o huevos (2-3 por planta) Se incubó a temperatura de laboratorio (20 a 25 °C) hasta la aparición de adultos. Una vez emergidos los adultos, se capturaron y se trasladaron a gavias con plantas de tomate sanas en su interior. En cada gavia se introdujeron 5 adultos para asegurar la presencia de por lo menos dos hembras y garantizar la postura de huevos y el posterior desenvolvimiento de larvas.

4.3 Ensayo 1: Repelencia

La prueba de repelencia consistió en probar el efecto de *Rosmarinus officinalis* (romero) sobre la ovoposición de las hembras.

El material vegetal se obtuvo del parque natural de Collserola ubicado en Barcelona. El extracto se obtuvo, desecando la planta durante 48 horas a 30 °C, en estufa () con ventilación. Posteriormente, se trituró empleando un molinillo (Molinox 320) y se maceró en agua durante 24 horas. Finalmente el

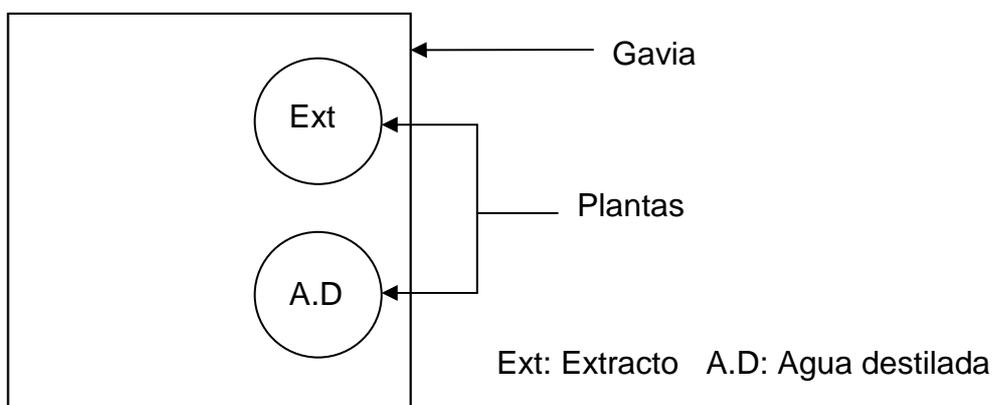
extracto se filtro empleando una bomba de vacío y papel de filtro convencional (Foto 4).



Foto 4 Proceso de Filtrado

Los adultos de tuta empleados en este ensayo, provenían de las plantaciones de tomate en invernadero de las cuales se obtuvo el inóculo inicial de larvas y huevos.

El diseño experimental consistió en ubicar 4 plantas de tomate en gavias de 50 x 50 x 80 cm. Dos de las 4 plantas se rociaron hasta el punto de rocío con el extracto de romero a una concentración de 73 gr/l y las otras dos con agua situadas en diagonal (Figura 5).



Se utilizaron 4 gavias, las cuales se situaron en el invernadero de la ESAB-UPC (Foto 5).



Foto 5 Diseño ensayo 1

A continuación se liberaron en el interior de las gavias 10 a 20 adultos de *T. absoluta*.

El seguimiento de las puestas se realizó durante 6 días. Cada día se contaron y anotaron el número de huevos en cada planta. El tratamiento con extracto se repitió al tercer día de comenzada la prueba.

4.4 Ensayo 2: Eclosión de huevos

Con el fin de evaluar las posibilidades de controlar las puestas de *Tuta*, se emplearon dos especies de hongos entomopatógenos: *Beauveria basiana* (Rodríguez et al, 2007) y *Paecilomyces lilacinus* (Singh, R.K 2010). Las esporas de ambos hongos fueron suministradas por el laboratorio de FuturEco S.L. El experimento se llevo a cabo colocando en placas de Petri una o dos hojas con huevos de *Tuta*, procurando que en cada placa hubiese mínimo 5 huevos y máximo 10. Las hojas con las puestas obtenidas de campo, se lavaron con agua destilada para remover posibles impurezas y se depositaron en placas de Petri con papel filtro humedecido con agua destilada. Se ordenaron las cajas según el número de huevos intentando formar rangos y se fueron asignando a cada tratamiento (*Beuvaria*, *Paecilomyces* y control) una caja de cada rango garantizando que cada tratamiento tuviese un número total de huevos similar. El diseño experimental consistió en 7 repeticiones (placas de Petri) para cada hongo y el control (total 21 placas de Petri). Una vez distribuidos los huevos, se procedió a aplicar los tratamientos. Para impregnar los huevos con las esporas de los hongos, se sumergió cada hoja en la dilución (10^8 espora ml^{-1}) durante 2 segundos. Para el control se siguió el mismo procedimiento sumergiendo las hojas en agua destilada. La prueba se realizo por duplicado. El seguimiento se realizo cada 24 horas durante 5 días. El seguimiento consistió en examinar las cajas en busca de huevos eclosionados. Se tomó como huevo eclosionado la presencia de larvas. Los datos se tabularon y se calcularon los porcentajes de eclosión según la formula

$$\left\{1 - \left(\frac{\text{huevos iniciales} - \text{huevos eclosionados}}{\text{huevos iniciales}}\right)\right\} \times 100$$

Los promedios de estos datos se muestran en el apartado de 5.2. También se realizó el cálculo del porcentaje de inhibición de la eclosión respecto al control según la fórmula

$$\left(\frac{\% \text{ eclosion tratamiento}}{\% \text{ eclosion control}} \right) \times 100$$

4.5 Ensayo 3. Efecto sobre el desarrollo de las larvas

Se evaluó el efecto larvicida de extracto de hojas de *Melia azedarach* cuya capacidad larvicida ha sido reportada por Brunherotto en 2001 y de nematodos entomopatógenos del género *Steinernema* aislados por el laboratorio de sanidad vegetal del DEAB-ESAB-UPC. En ambas pruebas el diseño experimental consistió en 5 repeticiones por tratamiento (placas de Petri) conteniendo folíolos de tomate con 5-7 larvas de *T. absoluta*. El control para ambas pruebas fue tratado con agua destilada a un número igual de repeticiones (Total 15 placas de Petri). El experimento se realizó por duplicado, pero en la segunda réplica no se realizó el tratamiento con nematodos ya que estos no se encontraban a punto el día del inicio de la prueba.

4.5.1.1 *Producto a base de extracto de hojas de Melia azedarach*

El material vegetal se obtuvo de una plantación ornamental de *M. azedarach* ubicada en la zona de aparcamiento de un área comercial en el sector de Sant Boi, en las cercanías del campus de la UPC del Baix del Llobregat. El material vegetal se secó en las instalaciones del laboratorio de protección vegetal a una temperatura de 40° por 48 hrs en estufa con ventilación (Binder FED), luego se pulverizó empleando un molinillo (Molinex 320) y el polvo obtenido fue almacenado en potes cerrados herméticamente hasta el momento de la preparación del producto. Un día antes del inicio del experimento, se preparó el extracto pesando 5 gr del polvo y se diluyeron en 100 ml, dejándose macerar durante 24 horas de agua destilada, obteniéndose una concentración de 5%. Luego se filtró empleando una bomba de vacío y papel de filtro convencional (Foto 2). Una vez obtenido el producto, se seleccionaron folíolos de hojas de tomate que tuviesen mínimo 5 larvas y máximo 7. Los folíolos con las larvas

fueron sumergidos en el extracto durante 10 segundos y se situaron en placas de Petri con papel filtro humedecido con el fin de retrasar la deshidratación de los folíolos. El control fue sumergido en agua destilada. La temperatura y humedad relativa fueron las del ambiente del laboratorio. El seguimiento se realizó por 48 horas y se anotaron el estado de la larva, tomando como indicadores de vitalidad el movimiento y el área foliar consumida.

4.5.1.2 *Nematodos entomopatógenos*

Los nematodos entomopatógenos necesarios para las pruebas de parasitismo en larva se obtuvieron por medio de multiplicación en larvas de *Galeria* según el protocolo utilizado en el laboratorio de sanidad vegetal del DEAB-ESAB-UPC (Anexo 1). El montaje de esta prueba fue exactamente igual al ensayo con extracto, con la única diferencia que los folíolos no fueron sumergidos en la solución con nematodos, sino adicionados a cada placa de Petri en un volumen de 10 ml y una concentración de 20 nematodos/ml.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Ensayo 1

El extracto de romero como elemento disuasivo de la postura de huevos por parte de las hembras, no tuvo ningún efecto significativo. Los valores de los promedios de puestas son bastante similares entre el tratamiento con extracto y el testigo. La figura 6 muestra los valores comparados del tratamiento y el testigo. Sin embargo, este resultado no descarta totalmente el uso de esta planta en el control de insectos. Es posible que el método empleado para obtener el extracto, no haya logrado movilizar las sustancias activas de la planta al extracto. Existen diversos reportes (O´farril-Nieves, H. 2010) que sostienen que el aceite esencial de romero es efectivo en el manejo de ácaros. El romero también es una excelente planta que actúa como hospedero natural de enemigos naturales de diversos insectos (Altieri, M.A 2007). Sobre el extracto acuoso de romero también existen estudios que sostienen que es un excelente herbecida natural (Murillo, 2008). Estas características del romero unido a la abundancia de este en toda la península ibérica, lo convierten en un candidato para continuar investigando las propiedades que esta planta posee.

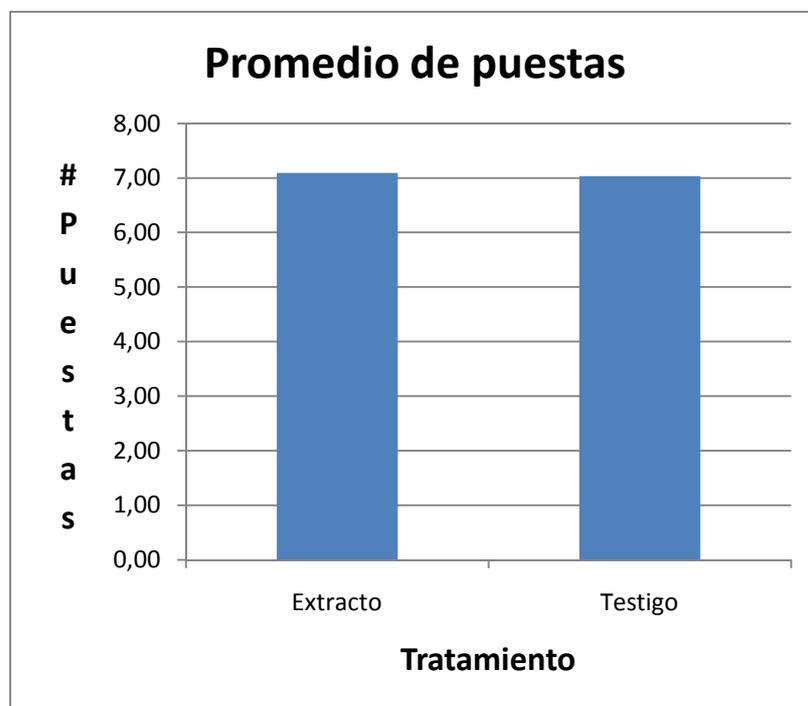


Figura 6. Comparativo entre tratamiento con extracto y testigo. Valor $P \approx 1$

Un análisis posterior (Fig 8) revelo que la ubicación de las plantas con respecto a la incidencia de la luz solar, tuvo un efecto en las puestas de los adultos. Al parecer las hembras fecundadas prefieren ovopositar en plantas que estén más influenciadas por la luz solar. Este resultado indirecto se obtuvo al analizar los datos de las puestas, en relación a la incidencia de la luz solar en las plantas. Para esto, se le asigno un número de fila y columna a cada planta y luego se realizo el análisis de varianza. El número de fila 1 es el correspondiente a una mayor incidencia de la luz solar (Fig 7).

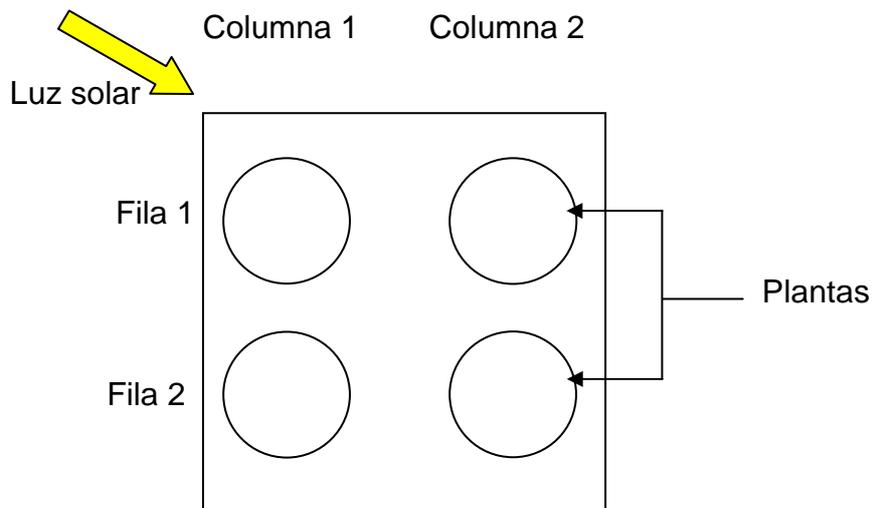


Figura 7. Esquema de ubicación de las plantas según incidencia de la luz solar

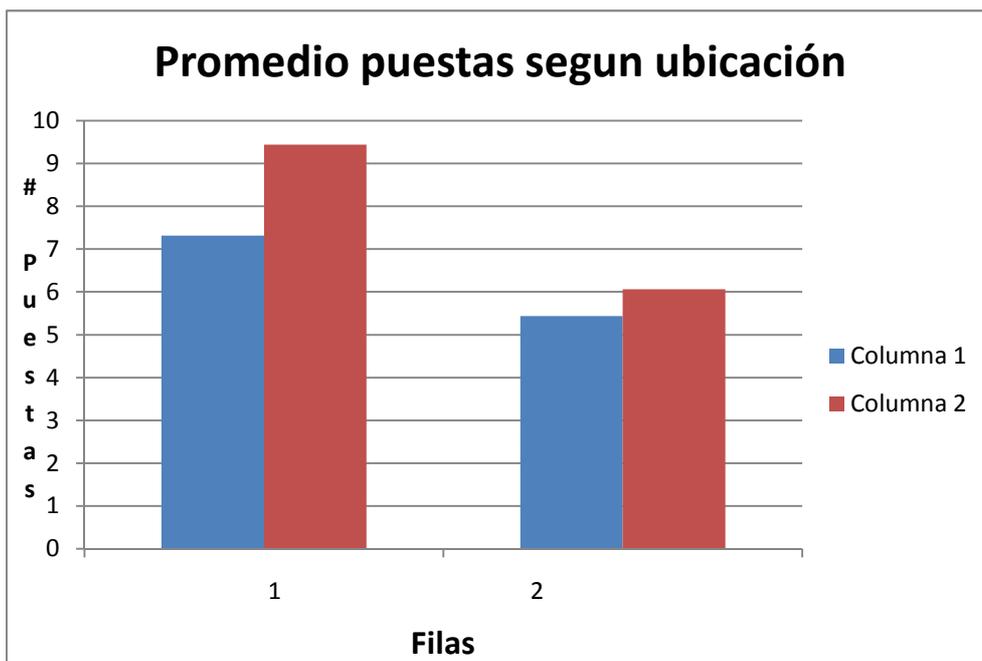


Figura 8. Promedio de puestas tomando en cuenta la ubicación de las plantas. Valor $P < 0.05$

5.2 Ensayo 2

Para las especies de hongos *Paecilomyces lilacinus* y *Beauveria basiana*, se obtuvieron valores de control de huevos bastante importantes, presentando los huevos infectados (Foto6) con la cepa de *P. lilacinus* un porcentaje de eclosión de 27%, porcentaje que es inferior al presentado por los huevos infectados con *B. basiana* el cual fue del 38%. Los valores de porcentaje son los del quinto día después de la inoculación con los hongos. También se comparo el porcentaje de eclosión en referencia al control obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 4. La figura 9 muestra los porcentajes de eclosión de cada uno de los tratamientos según los días luego de la inoculación.

% Eclosión respecto al control	
<i>B. basiana</i>	51,63836
<i>Paecilomyces</i>	36,11306

Tabla 4. Valores de porcentaje de eclosión de cada tratamiento con respecto al control

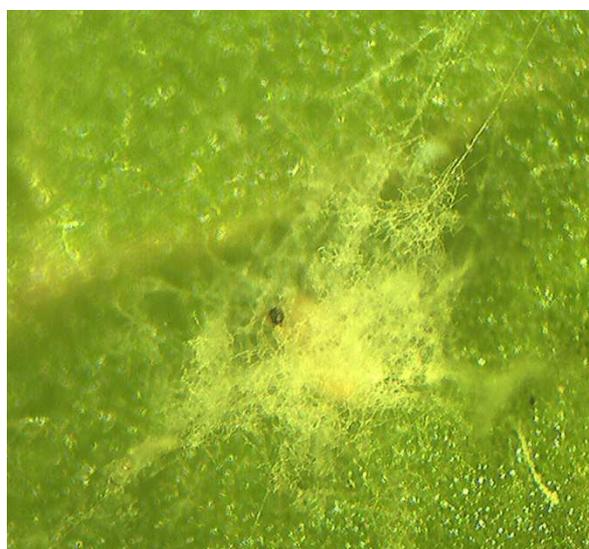


Foto 6 Huevo de *Tuta* infectado

El parasitismo de huevos por parte de hongos entomopatógenos es bastante común y ha sido reportado por varios autores como una potencial herramienta de control de plagas. En 2000 Castillo y colaboradores experimentan con 7 aislados de diferentes hongos entomopatógenos dentro de los cuales se

encuentra *B. basiana* y *P. fumosoros* y obtienen resultados de parasitismo de adultos y reducción de fecundidad y fertilidad en *Ceratitis capitata*.

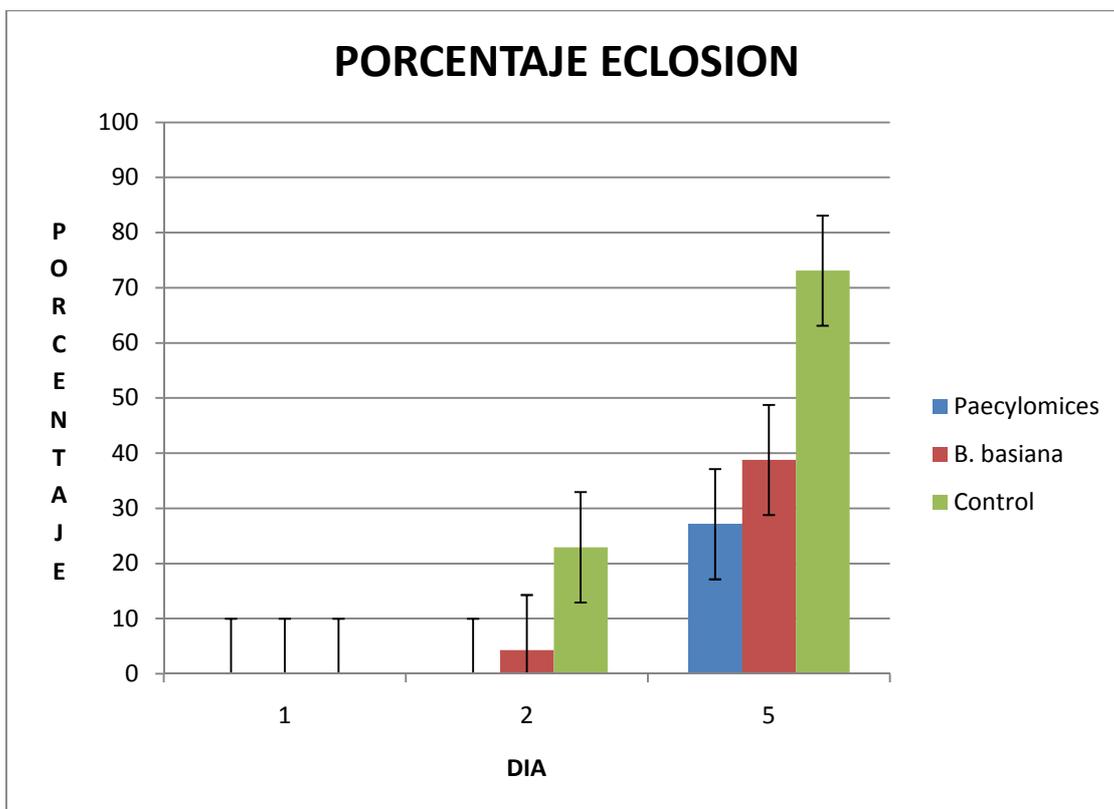


Figura 9 Porcentajes comparativos según tratamiento. Valor de $P < 0.05$

Para *T. absoluta* existen reportes de parasitismo en huevos por *M. anisopiliae* (Pires, Laurici M. 2009) con un tiempo de colonización de la totalidad de la superficie oval por parte del micelio de 72 horas. Los resultados obtenidos en esta prueba concuerdan con los obtenidos por Rodríguez (2006) en donde se encontró que cepas de *B. basiana* parasita efectivamente los huevos de la polilla del tomate

Los resultados obtenidos en esta prueba coinciden con los reportes existentes en la literatura acerca de la efectividad de hongos entomopatógenos en relación al parasitismo de huevos y comprueban, una vez más, que los hongos son una excelente herramienta para el control biológico de plagas. Sin embargo, hasta el momento el enfoque que se la ha dado al empleo de hongos en el manejo de plagas, ha sido bastante generalista y ha conducido a introducir cepas de organismos foráneos en distintos lugares en donde se practica el control biológico. Los reportes encontrados en la literatura apuntan a que en

cada región en donde se han realizado aislamientos de hongos, existen cepas con potencial controlador para las plagas de dicha zona en particular. Este hecho insinúa de manera directa, que los agentes de control no deben obtenerse de otras regiones que pueden estar bastante distantes, sino emplear los organismos con potencial presentes en la zona. Emplear organismo locales traería ventajas que van desde la disminución del impacto ambiental generado por la introducción de especies foráneas, hasta el aumento en el control generado por los organismos que se encuentran adaptados a estas zonas.

5.3 Ensayo 3

Los resultados del efecto larvicida tanto del extracto vegetal como de los nematodos fueron muy positivos. Los porcentajes de sobrevivencia de las larvas fueron de 21% para el extracto de *M. azederach* y de 0% para la especie de nematodos, razón por la cual los nematodos fueron excluidos del análisis estadístico. Los datos de mortalidad de larvas se tomaron a las 48 horas de haber realizado el tratamiento. En la figura 10 se muestran los valores comparativos de los porcentajes de sobrevivencia.

Los resultados obtenidos en la prueba con nematodos son concordantes con otros estudios en donde se reportan porcentaje de infección en larvas de *Tuta* del 100% para la especie de nematodos *Steinernema feltiae* (Batalla-Carrera, L. 2010). Esto demuestra la efectividad y el gran potencial que poseen los nematodos para parasitar las larvas de *Tuta* y por consiguiente el potencial efecto controlador que poseen sobre esta plaga. A pesar de esto es necesario realizar pruebas de la efectividad en campo de los nematodos y de la viabilidad de estos de soportar los métodos de aplicación empleadas en la agricultura.

Por otra parte, el extracto obtenido de *M. azederach* también presentó un buen efecto larvicida lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Brunherotto (2001). Los resultados obtenidos con este extracto indican que es bastante promisorio y que posee un gran potencial a la hora de controlar no solo larvas de *Tuta*, pero también de otras plagas de importancia agrícola (Nardo, E.A.B 1997). El potencial de este extracto no está solo fundamentado en su actividad larvicida, sino también en su facilidad de obtención y aplicación, ya que *M. azederach*, debido a su uso ornamental, se encuentra presente en bastantes

localidades y el proceso de extracción es bastante sencillo y de bajo costo tanto económico como ambiental.

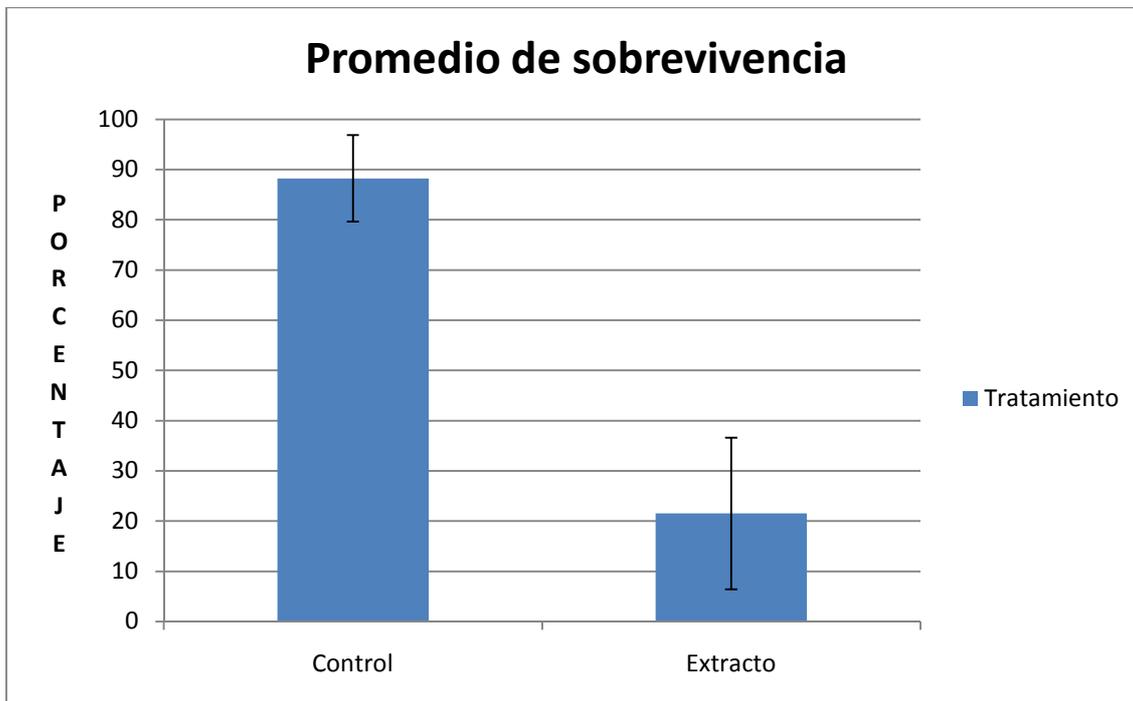


Figura 10 Porcentajes comparativos entre tratamientos. Valor de $p < 0.05$

6. Conclusiones

Con el fin de dar coherencia y continuidad a los planteamientos realizados en los objetivos del trabajo, las conclusiones se realizarán a luz de los mismos.

Es así como para el primer objetivo “Seleccionar métodos de manejo para *Tuta absoluta* que sean reproducibles con bajos niveles tecnológicos”, se puede concluir que se logró establecer dos métodos de control efectivos para la plaga. El primero de ellos, los hongos entomopatógenos, es un método de control bastante efectivo, sin embargo es necesario establecer los procedimientos y requerimientos necesarios para la obtención de estos organismos a un costo asequible por los productores. En cuanto al manejo de larvas, se encontraron dos posibilidades de control: los nematodos entomopatógenos y el extracto vegetal. El procedimiento para la reproducción a escala de laboratorio de los nematodos es bastante sencillo y económico, sin embargo requiere evaluarse la posibilidad de emplear este método de reproducción de nematodos a mayor escala con el fin de suplir las necesidades de los productores. Por otra parte, la aplicación del extracto vegetal es bastante viable a nivel de productores, ya que su manufacturación es muy sencilla y requiere pocos requerimientos de infraestructura, sin embargo es necesario realizar pruebas a mayor escala para de esta manera garantizar la efectividad del extracto y no poner en riesgo la producción de los productores.

En segunda instancia está el objetivo “Diseñar y probar, en condiciones de laboratorio, alternativas de control para el manejo de la polilla del tomate *Tuta absoluta*”, objetivo para el cual se obtuvieron resultados interesantes a nivel de laboratorio. A pesar de estos resultados tan alentadores, es necesario aclarar una vez más, que dichos resultados, son la etapa inicial del camino para llevar estas opciones de control a los campos de cultivo.

7. Anexos

Anexo 1

REPRODUCCION ENTOMOPATOGENOS

- 1- Recoger inóculo de población, tamizarlo sobre 400 mesh, limpiar con formalina (0.05%) y recoger con agua destilada.
- 2- Preparación de Eppendorfs para la inoculación: forrarlos internamente hasta la base con papel de filtro (forma de cucurucho). Papel y eppendorfs autoclavados.
- 3- En caso de contaminación: Colocar la recogida de nematodos en probetas de precipitado, extraer con pipetas pasteur y hacer tres limpiezas con agua destilada autoclavada en pocillos.
- 4- Calcular unos 30 nematodos aprox en tres gotas de solución.
- 5- Depositar galería de cuarto estadio en Eppendorf (erguida)
- 6- Inocular mojando el papel (3 gotas, sin que haya exceso en la base del Eppendorf)
- 7- Control 48h: NO muertas continuar en Eppendorf revisar cada 24h.
- 8- Muertas: - mojar en alcohol etílico y flamear 2-3 segundos sin quemar galería. Una vez esterilizada externamente depositar en trampa White.
- 9- Cubrir trampa White con plástico negro y depositar en cámara a 26-30 C°.

8. Bibliografía

- Agrios, G.N. 2007, *Fitopatología*, Limusa, México.
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. 2007, *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*, Icaria, España.
- Andow, D. 1991, "Vegetational diversity and arthropod population response", *Ann. Rev. Entomol.*, vol. 36, pp. 561-586.
- Babbitt, S. 2006, *Plagas y enfermedades del tomate*.
- Baker, K., Cook, J. & Garret, S.D. 1982, "Biological control of plant pathogens", *The American phytopathological society*.
- Batalla-Carrera, L., Morton, A. & García del Pino, F. 2010, "Efficacy of entomopathogenic nematodes against the tomato leafminer *Tuta absoluta* in laboratory and greenhouse conditions." *BioControl*, vol. 55, pp. 523.
- BENGTSSON, J., AHNSTRÖM, J. & WEIBULL, A.C. 2005, "The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis", *Journal of Applied Ecology*, vol. 42, pp. 261.
- Brunherotto, R. & Vendramin, J.D. 2001, "Bioatividade de Extratos Aquosos de *Melia azedarach* L. Sobre o Desenvolvimento de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) em Tomateiro", *Neotropical Entomology*, vol. 30, no. 3, pp. 455-460.
- CAFFARINI, P.M., FOLCIA, A.M., PANZARDI, S.R. & PÉREZ, A. 1999, "Incidencia de bajos niveles de daño foliar de *Tuta absoluta* (Meyrick) en tomate", *Bol. San. Veg Plagas*, vol. 25:, pp. 75.
- Carpinella, M.C., Defagó, M.T., Valladares, G. & Palacios, S.M. 2006, "Chapter 5 Role of *Melia azedarach* L. (Meliaceae) for the control of insects and acari: present status and future prospects" in *Advances in Phytomedicine*, ed. Mahendra Rai and María Cecilia Carpinella, Elsevier, , pp. 81-123.
- Carson, R. 1962, *Silent Spring*, Houghton Mifflin.
- Carvalho, R.O., Araújo, J.V., Braga, F.R., Araujo, J.M. & Alves, C.D.F. 2010, "Ovicidal activity of *Pochonia chlamydosporia* and *Paecilomyces lilacinus* on *Toxocara canis* eggs", *Veterinary parasitology*, vol. 169, no. 1-2, pp. 123-127.
- Castillo, M.A., Moya, P., Hernández, E. & Primo-Yúfera, E. 2000, "Susceptibility of *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) to Entomopathogenic Fungi and Their Extracts", *Biological Control*, vol. 19, no. 3, pp. 274-282.
- Cisneros, F. 2005, *Control de plagas agrícolas*, .
- Defagó, M.T., MangeauD, A., BensovskY, V., Trillo, C., Carpinella, C., Palacios, S. & Valladares, G. 2009, "*Melia azedarach* Extracts: A Potential Tool for Insect Pest Management", *Recent Progress in Medicinal Plants*, vol. 23.
- Dent, D. (ed) 1991, *Insect Pest Management*, C. A. B. International, Inglaterra.
- Desneux, N., Wajnberg, E., Wyckhuys, K., Burgio, G., Arpaia, S. & Narvaez-Vasquez, C. 2010, "Biological invasion of European tomato crops by *Tuta absoluta*: ecology,

- geographic expansion and prospects for biological control", *Journal of pest science*, vol. 83, no. 3, pp. 197-215.
- Díaz, P., Micaela, F.M. & RODRIGUEZ, A. 2006, "Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos", *INCI*, vol. 31, no. 12, pp. 856.
- García del Pino, F. 1994, Los nematodos entomopatógenos (*Rhabditida: Steinernematidae* y *Heterorhabditidae*) presentes en Cataluña y su utilización para el control Biológico de insectos, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Garrido, T., Costa, C., Fraile, J., Orejudo, E., Niñerola, J.M., Ginebreda, A., Olivella, L. & Figueras, M. 1998, Análisis de la presencia de plaguicidas en diversos acuíferos de Cataluña.
- Gómez Álvarez, L.E. 2007, "Efecto de los plaguicidas en el hombre".
- Gonzales, I. 1989, Diseño biosintético de fungicidas para el control de las enfermedades producidas por el fitopatógeno *Botrytis cinerea*, .
- González, J. 1997, "La contaminación de acuíferos por pesticidas agrícolas", *Vida rural*, vol. 55, pp. 72.
- Hilje, L. 2001, "Avances hacia el manejo sostenible del complejo mosca blanca-geminivirus en tomate, en Costa Rica", *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*, vol. 61, pp. 69.
- Isman, M.B. 2000, "Plant essential oils for pest and disease management", *Crop Protection*, vol. 19, pp. 603.
- Jacobson, M. (ed) 1988, Botanical Pesticides: past, present and future, American Chemical Society.
- Jovanovi, Z., Kostić, M. & Popović, Z. 2007, "Grain-protective properties of herbal extracts against the bean weevil *Acanthoscelides obtectus* Say", *Industrial Crops and Products*, vol. 26, pp. 100.
- Juaneda, A.M. 2009, Los nematodos entomopatógenos (*Rhabditida: Steinernematidae* y *Heterorhabditidae*) para el control del gusano cabezudo, *Capnodis tenebrionis* (*Coleoptera: Buprestidae*).
- Kilic, T. 2010, "First record of *Tuta absoluta* in Turkey", *Phytoparasitica*, vol. 38, no. 3, pp. 243-244.
- Köhl, J., Molhoek, W., Van der Plas, C. & Fokkema, N. 1995, "Effect of *Olicladium atrum* and other antagonists on sporulation of *Botrytis cinerea* on dead Lily leaves exposed to field condition", *The American Phytopathological Society*, vol. 85, no. 4, pp. 393.
- Leihner, D. 1983, Management and Evaluation of Intercropping Systems with Cassava, CIAT, Colombia.
- Leite, G.L.D., Picanço, M., Guedes, R.N.C. & Zanuncio, J.C. 2001, "Role of plant age in the resistance of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum* to the tomato leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae)", *Scientia Horticulturae*, vol. 89, no. 2, pp. 103-113.
- Liebman, M. 1999, "Sistemas de policultivos" en Agroecología: bases científicas para una agricultura sostenible Editorial Nordan-Comunidad, Montevideo, pp. 189.
- Liebman, M. & Dyck, E. 1993, "Crop rotation and intercropping strategies for weed management", *Ecological Applications*, vol. 3, pp. 92.

- Lorence, D.A. 1996, Los biopesticidas en el marco de la agricultura sostenible. Cuadernos de vigilancia tecnológica. .
- Mack, R.N., Barrett, S.C.H., deFur, P.L., MacDonald, W.L., Madden, L.V., Marshall, D.S., McCullough, D.G., McEvoy, P.B., Nyrop, J.P., Reichard, S.E.H., Rice, K.J. & Tolin, S.A. 2002, Predicting invasions of nonindigenous plants and plant pests. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Molina, N. 2001, "Uso de extractos botánicos en control de plagas y enfermedades", *Manejo integrado de plagas*, vol. 59, pp. 77.
- Montserrat Delgado, A. 2009, La Polilla Del Tomate "*Tuta absoluta*" en la región de murcia: bases para su control.
- Nardo, E.A.B., Costa, A.S. & Lourençao, A.L. 1997, "*Melia azedarach* extract as an antifeedant to *bemisia tabaci* (homoptera: aleyrodidae)", *Florida Entomologist*, vol. 80, no. 1.
- Navon, A. & Asher, K. 2000, Bioassays of entomopathogenic microbes and nematodes, CABI publisher.
- Neto, A., Silva, V., Maluf, W., Maciel, G., Nizio, D. & Gomes, L. 2010, "Resistance to the South American tomato pinworm in tomato plants with high foliar acylsugar contents", *Horticultura Brasileira*, vol. 28, no. 2, pp. 203-208.
- Norman, D.W. 1977, "The rationalization of intercropping", *African Envir*, vol. 2, no. 4, pp. 97.
- Novo, R.J., Viglianco, A. & Nassetta, M. 1998, "Efecto antialimentario de extractos de cuatro plantas sobre *Anticarsia gemmatilis* Hub (Lepidoptera: Noctuidae)", *Bol. San. Veg Plagas*, vol. 24, pp. 525.
- Nuez, F. 2001, El cultivo del tomate, Grupo Mundi prensa.
- Oliveira, F.A., da Silva, D.J.H., Leite, G.L.D., Jham, G.N. & Picanço, M. 2009, "Resistance of 57 greenhouse-grown accessions of *Lycopersicon esculentum* and three cultivars to *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)", *Scientia Horticulturae*, vol. 119, no. 2, pp. 182-187.
- Pascual-Villalobos, M.J., Bishop, C.D. & Alvarez-Castellanos, P.P. 2000, "Antifungal activity of the essential oil of flowerheads of garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium*) against agricultural pathogens", *Phytochemistry*, vol. 57, pp. 99.
- Pascual-Villalobos, M.J. & Robledo, A. 1998, "Screening for anti-insect activity in Mediterranean plants", *Industrial Crops and Products*, vol. 8, pp. 183.
- Pascual-Villalobos, M.J. & Robledo, A. 1999, "Anti-insect activity of plant extracts from the wild flora in southeastern Spain", *Biochemical Systematics and Ecology*, vol. 27, pp. 1.
- Perez, M.P. & Pascual-Villalobos, M.J. 1999, "Efectos del aceite esencial de inflorescencias de *chrysanthemum coronarium* L. en mosca blanca y plagas de almacén", *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg*, vol. 14, pp. 249.
- Pires, L.M., Marques, E.J., Wanderley-Teixeira, V., Teixeira, Á.A.C., Alves, L.C. & Alves, E.S.B. 2009, "Ultrastructure of *Tuta absoluta* parasitized eggs and the reproductive potential of females after parasitism by *Metarhizium anisopliae*", *Micron*, vol. 40, no. 2, pp. 255-261.

- Polo, M. & Guevara, E. 2001, "Contaminacion de acuíferos por efectos de lixiviados en el area adyacente al vertedero de desechos solidos la Guasima municipio libertador, estado Carabobo", *Ingenieria UC*, vol. 8, no. 2.
- Potting, R. 2009, "Pest risk analysis, *Tuta absoluta*, tomato leaf miner moth.", *Plant protection service of the Netherlands*, , pp. 24.
- Rodríguez del Bosque, L. & Arredondo, H. 2007, *Teoría y aplicación del control biológico*. Sociedad mexicana de control biológico.
- Rodríguez, M., Gerding, M. & France, A. 2006, "Efectividad de aislamientos de hongos entomopatógenos sobre larvas de polilla del tomate *Tuta absoluta* meyrick (Lepidoptera: gelechiidae)", *Agricultura Técnica*, vol. 66, no. 2, pp. 159.
- Rodríguez, M., Gerding, M. & France, A. 2006, "Selección de Aislamientos de Hongos Entomopatógenos de la Polilla del Tomate, *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: gelechiidae)", *Agricultura Técnica*, vol. 66, no. 2, pp. 151-158.
- Rodríguez, M., Gerding, M., France, A. & Ceballos, R. 2009, "Evaluation OF *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* Qu-M845 isolate to control *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in laboratory and field trials", *chilean journal of agricultural research*, vol. 69, no. 4, pp. 541.
- Rodríguez, R., Tabares, J.M. & Medina, J.A. 2001, *Cultivo moderno del tomate*, Grupo Mundi prensa.
- Rodríguez, M., Gerding, M. & France, A. 2007, "Hongos entomopatógenos para el control de la polilla del tomate", *Horticultura Internacional*, vol. 60, pp. 28.
- Salamanca, C., Jaramillo, M.C., Arango, G.J., Londoño, M.E., Tobon, J.A. & Henao, A. 2001, "Evaluacion de la actividad biologica de extractos vegetales sobre *Phylophaga obsoleta* Blanchard (Col:Melolonthidae)", *Actualidades Biologicas*, vol. 23, no. 75, pp. 5.
- Salazar, E. & Araya, J. 2001, "respuesta de la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick), a insecticidas en África". *Agricultura Técnica*, vol. 61, no. 4, pp. 429.
- Silva da Cunha, S., Vendramim, J.D., Caldas Rocha, W. & Vieira, P.C. 2006, "Frações de *Trichilia pallens* com atividade inseticida sobre *Tuta absoluta*", *Pesq. agropec. bras.*, vol. 41, no. 11, pp. 1579.
- Singh, R.K., Sanyal, P.K., Patel, N.K., Sarkar, A.K., Santra, A.K., Pal, S. & Mandal, S.C. 2010, "Fungus-benzimidazole interactions: a prerequisite to deploying egg-parasitic fungi *Paecilomyces lilacinus* and *Verticillium chlamydosporium* as biocontrol agents against fascioliasis and amphistomiasis in ruminant livestock.", *Journal of Helminthology*, vol. 84, no. 2, pp. 123-131.
- Wang, J., Wang, J., Liu, F. & Pan, C. "Enhancing the virulence of *Paecilomyces lilacinus* against *Meloidogyne incognita* eggs by overexpression of a serine protease.", *BIOTECHNOLOGY LETTERS*, vol. 32, no. 8, pp. 1159-1166.

Paginas web:

- Nematodos entomopatógenos* 2010, . Available:
http://www.bioagro.com.co/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=9 [2010, 11/12] .
- Rosset, P., Collins, J. & Moore, F.L. 2004, , *Revolucion Verde. Lecciones*. Available:
<http://www.biotech.bioetica.org/docta20.htm> [2007, 10/20] .

O´farril-Nieves, H. , *Insecticidas biorracionales*. Available:
<http://academic.uprm.edu/ofarrill/HTMLobj-323/biorational.pdf> [2010, .