



TÍTULO

DISEÑO AGROFORESTAL PARA EL CULTIVO DE CAFÉ EN ALTURAS

AUTOR

Jairo Efraín Recalde Rosero

	Esta edición electrónica ha sido realizada en 2023
Tutor	D. Enrique Murgueitio Restrepo
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía
Curso	<i>Máster Oficial en Agroecología : un Enfoque para la Sustentabilidad Rural (2021/22)</i>
©	Jairo Efraín Recalde Rosero
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2022



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

Para más información:

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

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

TFM: Diseño Agroforestal Para El Cultivo De Café En Alturas

Jairo Efraín Recalde Rosero

Tutor:

Enrique Murgueitio Restrepo
Médico Veterinario Zootecnista

UNIVERSIDAD DE INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA
MÁSTER OFICIAL EN AGROECOLOGÍA, UN ENFOQUE PARA LA
SUSTENTABILIDAD RURAL
BAEZA, ANDALUCÍA ESPAÑA
2022

INDICE

	pág.
1. RESUMEN	4
2. INTRODUCCIÓN	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	10
5. OBJETIVOS	12
5.1. OBJETIVO GENERAL	12
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
6. MARCO REFERENCIAL	13
7.1 Café	13
7.1.1. Generalidades sobre el cultivo en Colombia	13
7.2. Sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola	14
7.2.1 Dimensiones necesarias para lograr la sostenibilidad	14
7.3. Agroforestería	15
7.3.1. Sistema Agroforestal cafetero	16
7.3.2. Características de los sistemas agroforestales	16
7.4. Modelos agroforestales	17
7.4.1. Árboles asociados con cultivos perennes	17
7.4.2. Árboles en asociación con cultivos anuales	18
7.4.3. Sistemas silvopastoriles	18
7.4.4. Cortinas rompevientos	18
7.4.5. Plantaciones con árboles en los linderos.	19
7.4.6. Cercas vivas	19
7.4.7. Agro bosques o fincas forestales	19

7.4.8.	Forestería Análoga (FA)	19
7.5.	Agroforestería con café	20
7.5.1.	Sistema Agroforestal Cafetero (SAFC)	20
7.5.2.	Beneficios de la aplicación de sistemas agroforestales	20
7.6	Café especial	21
8.	METODOLOGÍA	22
9.	RESULTADOS	24
9.1	Climatología Andina	24
9.2	Café y cambio climático	26
9.3	Beneficios del cafetal con sombra	29
9.3.1	Especies clave	29
9.3.2	Especies pioneras o de ciclo corto	30
9.3.3	Especies de bosques maduros	30
9.3.4	Criterios para seleccionar las especies apropiada en un sistema agroforestal	31
9.4.	Diseño de arreglo vegetal participativo para la producción de café en alturas	41
9.4.1	Criterios para el diseño de sistemas agroforestales con café	41
9.4.2	Sistemas agroforestales propuestos	41
9.4.3	Consideraciones para el establecimiento y manejo de los árboles en sistemas agroforestales	46
9.5	Aplicación de sistemas agroforestales con café de altura. Guía Práctica	49
9.5.1	Consideraciones para la aplicación de sistemas agroforestales con café	49
9.6	Propuesta de posible Diseño Agroforestal para café de altura.	52
10.	CONCLUSIONES	57
11.	BIBLIOGRAFÍA	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para seleccionar la especie apropiada en un sistema agroforestal.	32
Tabla 2. Matriz arboles promisorios, especies pioneras y de ciclo corto.	33
Tabla 3. Componentes y funciones dentro del sistema Agroforestal.	53
Tabla 4. Distribución espacial de cada componente dentro del sistema agroforestal.	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características deseables de un árbol de sombra. Fuente (Mocca, 2016).	31
Figura 2. Diseño de Árboles en los cultivos al triangulo. Fuente (Farfán, 2014).	42
Figura 3. Diseño de Árboles en los cultivos al cuadrado. Fuente (Farfán, 2014).	43
Figura 4. Diseño de Árboles en los cultivos en callejones. Fuente (Farfán, 2014).	43
Figura 5. Cultivo de café con sombrío diverso tecnificado, fuente (Farfán, 2012).	45
Figura 6. Sombrío del café en estrato simple, fuente (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).	45
Figura 7. Sombrío del café en multiestrato, fuente (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).	46
Figura 8. Vista frontal del sistema agroforestal establecido, fuente (Farfán, 2014).	55
Figura 9. Esquema del establecimiento de los componentes dentro del sistema	56

1. RESUMEN

El café es una planta sensible a los cambios de temperatura por lo cual el exceso o falta de luz genera alteraciones en su desarrollo, igualmente la disponibilidad de agua en el suelo, la humedad relativa dentro de la plantación y la altura a la cual ha sido cultivada. Las hojas de las plantaciones de café funcionan como una fábrica que utiliza energía proveniente de la luz solar y crean el ambiente adecuado regulando el microclima dentro del cultivo. La sombra aumenta la fertilidad del suelo mediante el aporte de materia orgánica y el reciclaje de elementos. La hojarasca y las ramas que provienen de los árboles de sombra por desprendimiento o por poda, forman una cobertura que protege el suelo de la erosión y evita el crecimiento de malezas.

El presente trabajo propone un diseño para la aplicación de agroforestería en cafés cultivados a mayor altura sobre el nivel del mar que los hasta ahora empleados en caficultura, estimulando la recuperación, conservación y cuidado de varias especies arbóreas, mediante su incorporación en sistemas agroforestales con "café en altura en Colombia". Un sistema agroforestal cafetero es un conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo, el agua y la biodiversidad, dentro de un esquema de producción sostenible con base agroecológica.

Los sistemas agroforestales permitirán mantener mayor producción, adicional a esto, representan una alternativa para los caficultores, al reducir la dependencia de un solo cultivo, logrando por lo general, acrecentar la rentabilidad en las fincas.

2. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café tiene grandes oportunidades de desarrollo debido a su facilidad para ser cultivado en mayores alturas sobre el nivel del mar obligado en gran medida por el cambio climático global. Gast (El caficultor, 2010) coincide con Läderach et al. 2017, en sus análisis sobre cambio climático aplicados al cultivo de café y sugieren que se debe tener un plan de acción dirigido a mantener una estrategia de adaptación y mitigación de los efectos ocasionados por las variaciones climáticas, con el objetivo prioritario de garantizar la sostenibilidad de la caficultura. El cultivo de café en altura por encima de la distribución geográfica normal aceptada hasta ahora (1000 y 2000 msnm), se convierte en una ventaja para la elaboración de un sistema agroforestal con el objetivo de obtener cafés especiales bajo un sistema sostenible, Sin embargo, estas ventajas no han sido aprovechadas de la mejor manera debido a factores como la falta de atención e investigación en el sector agropecuario y agroindustrial, lo que ha generado que la mayoría de los campesinos no dispongan de información acerca de los sistemas agroforestales aplicables en el café y en especial para el café de altura.

El presente trabajo propone un diseño para la aplicación de agroforestería en cafés especiales cultivados en altura en Colombia impulsando la recuperación, conservación y cuidado de varias de las especies arbóreas, mediante su incorporación en sistemas agroforestales con café en altura. Un sistema agroforestal cafetero es un conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo, el agua y la biodiversidad, dentro de un esquema de producción sostenible con base agroecológica.

Los sistemas agroforestales permitirán mantener mayor producción, adicional a esto, representan una alternativa para los caficultores, al reducir la dependencia de un solo cultivo, logrando por lo general, incrementar la rentabilidad en las fincas.

En la actualidad existen publicaciones realizadas por entidades oficiales y privadas que han establecido la importancia del cultivo de café sostenible mediante aplicación de agroforestería. Los libros “Agroforestería y sistemas agroforestales con café” (Farfán, Fernando, Federación Nacional de Cafeteros, CENICAFÉ); “Arboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café” (Farfán, Fernando, Federación Nacional de Cafeteros, CENICAFÉ); “Arboles nativos importantes para la conservación de la biodiversidad propagación y uso en paisajes cafeteros” (Espinosa, Roció y López, Andrés, Federación Nacional De Cafeteros, CENICAFÉ); “Etnobotánica con enfoque agroecológico asociada al agroecosistema café en Risaralda (Colombia)” (Franco, Francisco, Universidad Internacional de Andalucía); “Propuesta de un Diseño Agroforestal con Café (*Coffea arabica*, Linn) y Manejo Orgánico En La Región de Monteverde, (Costa Rica)” (Fernández, Gabriel, Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Forestal); “El agroecosistema café orgánico en México” (E. Escamilla y O. Ruiz, Foro costa rica 2005). Sin embargo, es muy escaso el desarrollo que se le ha dado al café cultivado a mayor altitud sobre el nivel del mar más allá de la distribución geográfica aceptada hasta el momento (1000 y 2000 msnm). A pesar de los esfuerzos que se han hecho por incentivar el cultivo debido a las dificultades ocasionadas por el cambio climático global para el futuro de la siembra de café y los beneficios que puede conllevar si se realiza de manera sustentable. Todavía no se ha logrado establecer una propuesta de posible diseño agroforestal para el impulso de cafés especiales cultivados en altura restándole importancia a su potencialidad como fuente de desarrollo rural sostenible.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El café requerirá atención especial dada su importancia económica nacional. Las estrategias de adaptación en el café son variadas. En las últimas décadas, dada la especificidad del nicho climático cafetalero, se ha observado la migración altitudinal de las tierras cafetaleras en algunas regiones de Colombia. El sombrío podría ser una estrategia clave en áreas en las que la producción es mayoritariamente de pequeños agricultores. Los aumentos de temperatura requerirán amortiguamiento, especialmente durante los períodos de verano y entre 500 y 1.500 m.s.n.m. La migración de tierras cultivadas hacia áreas más frías (es decir, más altas) en los Andes, si se considera una estrategia viable, deberá ser ambiental y socialmente sostenible (Ramírez-Villegas et al. 2021).

En la actualidad no existen estudios acerca de la aplicación de un sistema agroforestal para cafés cultivados en alturas mayores a las convencionales (1000 y 2000 msnm). Se requiere adentrarse en estudios más exhaustivos para conseguir que la información generada en la academia sea aplicada por los campesinos dedicados al cultivo del café con el objetivo de generar conciencia en cuanto a el impacto que pueden tener las prácticas agronómicas actuales.

Una de las preocupaciones actuales de la sociedad, es que la tasa de extinción natural de las especies se ha incrementado aceleradamente por las actividades humanas. Técnicamente, una especie se considera extinta cuando todos los individuos mueren sin dejar descendencia (Farfán, Fernando 2014). En los ecosistemas adicionalmente se ejerce presión sobre el uso del suelo, debido al crecimiento demográfico registrado en muchos lugares del trópico; la tala de bosques, el uso del fuego en los cultivos, la siembra de monocultivos y cultivos transitorios sin prácticas de conservación de suelos, especialmente en topografía pendiente, la eliminación de la biodiversidad y la materia orgánica, a través de prácticas agronómicas no adecuadas, entre otros, lo cual conduce a la degradación del suelo, disminución del rendimiento de los cultivos y a la invasión de hierbas difíciles de controlar. Una de las alternativas para frenar estos procesos y hacer frente a las variaciones que en el clima pueda

presentarse a futuro es la explotación de la tierra a través de sistemas agroforestales o agroforestería (Farfán, Fernando 2014).

El sector cafetero se enfrenta a importantes desafíos derivados del cambio climático, ya que el aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitación y los fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes e intensos (p. ej., sequías severas, huracanes e inundaciones) reducen los rendimientos y la calidad, aumentan las plagas y brotes de enfermedades y cambian la capacidad de las áreas para el cultivo del café (Bunn et al. 2015; Läderach et al. 2017; Harvey et al. 2018). Se espera que el cambio climático reduzca significativamente el área disponible para la producción de café en América Latina en el futuro, a menos que se implementen medidas de adaptación (Bunn et al. 2015; Läderach et al. 2017) (Harvey et al. 2021).

Por tal razón, la implementación de sistemas de manejo agroforestal con café para acrecentar la productividad sin poner en riesgo las plantaciones le permitirá al caficultor integrarse en la dinámica de la economía mundial con la venta de cafés especiales cultivados en altura, y poder entrar a competir en este tipo de mercados mediante el uso de criterios de sostenibilidad. En este contexto, las Instituciones de Educación Superior, entran a jugar un papel trascendental manteniendo una continua investigación acerca de las alternativas promisorias que permitan impulsar el desarrollo económico y social de cada una de las regiones de Colombia que encuentran en el café su pilar de desarrollo siempre que los modelos agroforestales implementados tengan como propósito la conservación del suelo y el agua, y el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras.

Este concepto aplicado en el café en altura resulta muy importante para mejorar la producción y mantener la biodiversidad de las zonas de mayor altitud (más de 2000 msnm) en donde se pretende iniciar con el cultivo de café, la aplicación de agroforestería apoyaría la recuperación, conservación y cuidado de muchas de las especies arbóreas bajo amenaza o en peligro de extinción, mediante su incorporación en sistemas agroforestales con café.

La presente propuesta pretende ser una herramienta útil para la aplicación de sistema agroforestales de cultivo de cafés especiales en alturas, lo cual consiste en la aplicación de un diseño y metodología para su implementación

4. JUSTIFICACIÓN

Los pequeños productores de café de la región andina han tenido que buscar alternativas para diferenciarse en el mercado dominado por grandes volúmenes producidos en Brasil y Asia y obtener una mayor utilidad. Allí se encuentra la producción de café de especialidad o con certificaciones de calidad, origen, protección medioambiental o trabajo justo, de las cuales se valen los caficultores para acceder a precios más altos en la venta de café verde. El cultivo instaurado en mayor altitud sobre el nivel del mar se considera una opción de mayores utilidades por su sabor, aroma y otros atributos, y con un adecuado sistema agroforestal sostenible, en un aporte al cuidado del medio ambiente mediante las prácticas de sostenibilidad en los cultivos. Con la aparición de los cafés especiales se ha determinado el rumbo de la producción cafetera en el mundo en dos vertientes claras. Por un lado, encontramos los países que se han dedicado a una producción a gran escala, buscando ganancias en la cantidad producida, y por otra están los productores de calidad, que han especializado sus cultivos en diversas características, donde se ha podido encontrar la ganancia en el valor agregado por la diferenciación y la pequeña producción (de la mano de una demanda creciente). Es importante tener en cuenta que la industria de los cafés especiales se encuentra en crecimiento gracias a la demanda del mayor país importador (Estados Unidos), donde el consumo de café especial es mayor que el consumo del café regular y donde anualmente aumenta en un 30% la venta de bebidas preparadas a base de café (Ponte, 2003).

Según el MCIT¹, para el año 2015 las exportaciones de cafés especiales superaron los 2800 millones de dólares. Independientemente de las condiciones geográficas para cultivar el grano, es de gran importancia que Colombia, como tercer proveedor con el Certificado Internacional utz², sea reconocido por su responsabilidad social y por el respeto con el medio ambiente para producir el grano (Fnc, 2010).

¹ En lo sucesivo, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

² utz en dialecto maya significa “bueno” y se extiende al cacao y al té, determinando así: “buen café”, es decir, reconoce la producción con calidad social y ambiental.

Una forma de incentivar el cultivo de café especiales en alturas es desarrollar la actividad cafetera de tal modo que además de exportar el grano, se diversifique en la producción de derivados del grano con un alto valor agregado, lo cual contribuye a incentivar la economía cafetera y evitar la salida de los caficultores jóvenes a las grandes ciudades en busca de nuevas oportunidades a consecuencia del abandono gubernamental y la falta de oportunidades de mejora que se pueden conseguir mediante el ejercicio como caficultor.

Todos los modelos de circulación global pronostican que el cambio climático aumentará las temperaturas medias y cambiará los regímenes de precipitación. Como resultado, las regiones cafetaleras tradicionales pueden desaparecer y pueden aparecer nuevas regiones (Läderach et al. 2011). Sin embargo, la demanda de café de alta calidad y de origen responsable continúa creciendo a nivel mundial. Para obtener fuentes sostenibles de café, los colaboradores en la cadena mundial de suministro de café necesitan saber dónde crecerá el café en el futuro y cómo cambiará la idoneidad de estas áreas con el tiempo. Con esta información, la cadena de suministro necesita desarrollar estrategias apropiadas de mitigación y adaptación específicas para el sitio, tanto a corto como a largo plazo, para garantizar el suministro de café y apoyar mejores medios de vida para las comunidades rurales (Läderach et al. 2011).

De esta manera, la importancia de esta propuesta es constituirse como una alternativa de aplicación en las zonas de mayor altura sobre el nivel del mar para la concepción de un cultivo de café especialmente para Colombia, mediante la generación de empleo y además servir como un factor de motivación para que agricultores de algunas zonas afectados por una dinámica económica basada en los cultivos tradicionales, puedan sustituir dichos cultivos por plantaciones no tradicionales en esta zona climática (como lo es el cultivo de café) ; ayudando de esta forma a establecer la cadena productiva del café especial de altura .

5. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un diseño para la aplicación de agroforestería en cafés de mayor altura sobre el nivel del mar, con criterios agroecológicos de sostenibilidad y resiliencia climática.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar especies incorporadas en el sistema, árboles promisorios y plantas acompañantes para su aplicación en el cultivo de café de mayor altura sobre el nivel del mar en la región andina de Colombia.
- Proponer diseño de arreglo físico del cultivo para la producción de café en alturas.
- Establecer metodología para el establecimiento de sistemas agroforestales sostenibles en altura, con base en análisis de la biodiversidad funcional.

6. MARCO REFERENCIAL

6.2. Café

El café es un producto proveniente de los frutos procesados de la planta *Coffea arábica* Linn. (cafeto). Hasta el día de hoy se conocen más de 2.000 varietales (variedades de cafeto), las cuales se dividen en tres grandes familias, de las cuales solo se producen dos a gran escala, la familia Arábica y la familia Robusta. Más del 60% de la producción de café proviene de varietales arábigos y estos son conocidos como los cafés suaves (Ospina, Alejandro ,2017).

6.2.1. Generalidades sobre el cultivo en Colombia

La caficultura en Colombia se ubica en un rango latitudinal comprendido entre 1°N hasta 11°N, con rangos variados de altitud entre 1000 y 2000 msnm, zonas que se caracterizan por presentar temperaturas que oscilan entre 17 y 23°C., precipitaciones cercanas a los 2000mm anuales, distribuidos a lo largo del año, brillo solar de 4,5 horas día⁻¹ (1688 horas año⁻¹), aunque existen zonas cafeteras con picos máximos de luminosidad de 2100 horas y mínimos de 950 horas año⁻¹ (Ramírez et al., 2013).

El sector cafetero como la principal fuente de empleo en 52.5% de los municipios colombianos genera 530 mil empleos directos, con 2.5 millones de personas dependiendo de su cultivo, y una participación activa de la mujer, oscilando entre 30% y 50%. La pequeña (área cultivada < 2.37 ha) y mediana explotación cafetera (5-15 ha) que constituye el 96% de los productores, proveen el 55% de la producción nacional (Fnc, 2018).

En el Documento Estratégico “*Sostenibilidad de la caficultura - 2011*” (Fnc, 2011), se plantea la necesidad de desarrollar alternativas de adaptación de la caficultura que contribuyan a recuperar, estabilizar y aumentar la producción y la productividad de los cafetales, con sostenibilidad y calidad; dentro de las estrategias se contempla, entre otras: El implementar densidades de siembra y arreglos del cultivo en función del sombrío y del

potencial de crecimiento y producción de cada zona cafetera, así como la implementación de sistemas de manejo del sistema agroforestal con café para incrementar la productividad sin poner en riesgo las plantaciones (Farfán, Fernando. 2012).

Los sistemas agroforestales con café y la gran cantidad de prácticas que de ellos se derivan, servirán de soporte técnico a los caficultores y a todo aquel que desee establecer o rediseñar los sistemas de producción de café con la inclusión de especies arbóreas, siempre que los modelos agroforestales implementados tengan como propósito la conservación del suelo, el agua y la biodiversidad, así como el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras(Farfán, Fernando. 2012).

7.2 Sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola

Se refiere a la capacidad del sistema para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o internas. La sostenibilidad es función de las características naturales del sistema y las presiones e intervenciones que sufre, así como aquellas intervenciones sociales, económicas y técnicas que se hacen para contrarrestar presiones negativas; destacándose la resiliencia del sistema (Martínez, Róger 2009).

7.2.1 Dimensiones necesarias para lograr la sostenibilidad

La dimensión ecológica: implica preservar y potenciar la diversidad y complejidad de los ecosistemas, su productividad, los ciclos naturales y la biodiversidad. La crisis ecológica no es un problema abstracto que interesa solo a las clases medias de los países del Norte, que tienen satisfechas sus necesidades básicas y pueden preocuparse por el entorno natural. La crisis ecológica está muy ligada a la supervivencia física y cultural de los pueblos y de los sectores excluidos del planeta.

La dimensión social: Se refiere a un acceso equitativo a los bienes ambientales, tanto en términos intrageneracionales como intergeneracionales, tanto entre géneros, como entre culturas. La dimensión social de la sostenibilidad permite apreciar la relevancia que adquiere la justa distribución de los bienes ambientales en un mundo donde la inequidad aumenta día a día.

La dimensión económica: Exige redefinir la actividad económica de acuerdo con las necesidades materiales e inmateriales, entendidas no solo como carencias, sino como potencialidades. Las nuevas actividades económicas deben basarse en unidades de producción locales y diversificadas, adaptadas a las características de los ecosistemas para usarlos de manera sostenible (Martínez, Róger 2009).

La dimensión política: Se refiere a la participación directa de las personas en la toma de decisiones, en la definición de su futuro colectivo y en la gestión de los bienes ambientales por medio de estructuras de gobierno descentralizadas y democráticas. Plantea la necesidad de resignificar la política y generar nuevas prácticas basadas en la participación directa y el protagonismo de las personas en la búsqueda de alternativas, que necesariamente deben surgir de relaciones horizontales, ajenas a esquemas centralizados y verticalistas que concentran el poder. La sostenibilidad solo será posible si se devuelve el poder de decisión al pueblo (Martínez, Róger 2009).

7.3. Agroforestería

Los sistemas agroforestales (SAF) son formas de uso y manejo de los recursos naturales en las cuales especies leñosas (árboles, arbustos, palmas) son utilizadas en asociación deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Montagnini et al 1992). Los SAF uno de los mecanismos para la adaptación al cambio climático debido a su diseño que promueve un microclima moderado bajo la sombra de los árboles, donde la temperatura en promedio puede disminuir de 2 a 5°C (Murgueitio et al. 2011)

. Los SAF se encuentran ampliamente difundidos en América Latina, con un total de 200-357 millones de ha incluido 14-26 millones en América Central y 88-315 en América del Sur (Montagnini F. 2015).

La agrosilvicultura es un crecimiento deliberado de árboles perennes simultáneamente con cultivos agrícolas, pastos o animales, en la misma unidad de tierra, de una forma espacial o secuencial, en la cual debe haber una interacción significativa (positiva o negativa) entre los componentes arbolados y no maderables del sistema, pero siempre con un interés ecológico o económico. Son una serie de sistemas y tecnologías del uso del suelo en la que se combinan árboles con cultivos agrícolas o pastos en función del tiempo y espacio, para incrementar y optimizar la producción de forma sostenida (Farfán, Fernando. 2012).

7.3.1. Sistema Agroforestal cafetero

El café, uno de los productos agrícolas más exportados en el mundo, es producido principalmente en sistemas agroforestales. Históricamente se ha debatido la conveniencia de cultivar el café a pleno sol o en asocio con árboles (Samper M. 1999).

Un sistema agroforestal cafetero es un conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo y el agua, y el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras (Farfán, Fernando. 2012).

7.3.2. Características de los sistemas agroforestales

La presencia de árboles provee a los sistemas agroforestales algunas características que favorecen a la productividad y la sostenibilidad; las principales características son:

1. Productividad. La mayoría de los sistemas agroforestales apuntan a mantener o aumentar la producción, así como la productividad. La agroforestería puede mejorar la productividad

de muchas formas, éstas incluyen la obtención creciente de productos de los árboles, mejoramiento de la producción de los cultivos asociados, reducción en la aplicación de insumos, mano de obra eficiente y eficaz.

2. Continuidad. Al conservar el potencial de producción como base del recurso, en función de los efectos benéficos de los árboles sobre el suelo. La agroforestería puede alcanzar y mantener indefinidamente los objetivos de la conservación y de la fertilidad del suelo.

3. Adopción. El hecho que la agroforestería sea relativamente una nueva palabra para un viejo sistema de prácticas, en muchos casos, es aceptada por la comunidad agrícola; no obstante, esto implica el mejoramiento de las tecnologías agro silvícolas y que la introducción de nuevas áreas a la agroforestería, deben ajustarse a las prácticas agrícolas locales.

4. Resiliencia. Se define como la capacidad de un ecosistema para volver a su estado original después de una perturbación, manteniendo su característica esencial, composición florística, estructura, funciones de sus componentes, y los diferentes procesos que en él se desarrollan. Puede definirse también como la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones y retener sus funciones, la estructura básica y su identidad (Farfán, Fernando. 2012).

7.4. Modelos agroforestales

7.4.1. Árboles asociados con cultivos perennes

Los sistemas agroforestales con café, comunes en las zonas cafeteras colombianas, pueden clasificarse como simultáneos. En contraste con los sistemas agroforestales secuenciales o con interacción cronológica, en los sistemas simultáneos (con interacción directa), los componentes agrícolas y arbóreos se encuentran en el mismo terreno durante toda la duración del sistema. El objetivo principal de los SAF simultáneos es la diversificación de la producción, aunque también pueden lograrse aumentos en la productividad a través de algunas interacciones con el componente arbóreo (Farfán, Fernando. 2012).

7.4.2. Árboles en asociación con cultivos anuales

(Cultivos en callejones). Consiste en la asociación de hileras de plantas o cercas de árboles en parcelas donde los cultivos se encuentran en callejones entre los surcos de los árboles. En estas asociaciones las interacciones de los cultivos anuales con el componente arbóreo son similares a las del caso anterior. Estos sistemas se establecen para especies anuales tolerantes a la sombra (Farfán, Fernando. 2012).

7.4.3. Sistemas silvopastoriles

Los Sistemas Silvopastoriles son un conjunto variado de arreglos espontáneos o deliberados en los que interactúan en forma simultánea plantas leñosas perennes (árboles o arbustos), plantas herbáceas o volubles (pastos, leguminosas herbáceas y arvenses) y animales domésticos (Murgueitio et al. 2015).

Estos sistemas y los silvoagrícolas tienen las mismas características estructurales: los árboles cubren el piso inferior constituido por pastos; el piso inferior y, algunas veces, también el superior está dedicados a la producción animal. La producción de forraje bajo la cubierta arbórea puede dedicarse a los sistemas de corte y carga. En estos sistemas pueden incluirse diferentes tipos de animales silvestres. Estos sistemas son practicados a diferentes niveles, desde las grandes plantaciones arbóreas comerciales con inclusión de ganado, hasta el pastoreo de animales como complemento a la agricultura de subsistencia.

7.4.4. Cortinas rompevientos

Son usadas para la protección de cultivos y animales, incluso donde la agricultura es intensiva. Además de jugar un papel protector, los árboles empleados como cortinas rompevientos producen madera, abono verde, leña y frutos, entre otros. Las barreras rompevientos están constituidas por una o varias hileras de árboles (Farfán, Fernando. 2012).

7.4.5. Plantaciones con árboles en los linderos

Se usan para delimitar parcelas o fincas y para separar áreas con diferentes cultivos; también son usados para incorporar árboles a los paisajes agrícolas. Los árboles pueden ser explotados con fines comerciales (Farfán, Fernando. 2012).

7.4.6. Cercas vivas

Es una plantación de árboles que sirven de postes para delimitar una propiedad, un lote, etc. El objetivo básico es la delimitación y protección de los terrenos; de los árboles también puede obtenerse beneficios como producción de leña, forraje, postes y madera (Farfán, Fernando. 2012).

7.4.7. Agrobosques o fincas forestales

Esta categoría emplea tecnologías agroforestales derivadas o semejantes a los huertos caseros mixtos, y que dan origen a cultivos que se asemejan a los bosques, de aquí el nombre de agrobosque. Frecuentemente son pequeñas parcelas con una estructura típica de los bosques, debida a la presencia de árboles grandes y multiestratos. A menudo existe gran diversidad de especies en un arreglo no zonal de grandes árboles coexistiendo con otros más pequeños y plantas arvenses que son, generalmente, tolerantes a la sombra. En el agrobosque los árboles y los cultivos se manejan individualmente con distintas prácticas (Farfán, Fernando. 2012).

7.4.8. Forestería Análoga (FA)

Es un sistema que busca establecer ecosistemas análogos en estructura arquitectónica y funciones ecológicas, a la vegetación original. Busca fortalecer las comunidades rurales, tanto en lo social como económicamente, a través del uso de especies que suministren productos con valor económico (Farfán, Fernando. 2012).

7.5. Agroforestería con café

7.5.1 Sistema Agroforestal Cafetero (SAFC).

Coffea arábica es una especie originaria del sotobosque de las mesetas de Etiopía y del sur de Sudán, por lo tanto, está adaptada a ambientes frescos, sombreados y secos. La selección genética y las nuevas tecnologías de producción, en particular la exposición al sol, combinada con altas densidades de siembra - que permiten el auto-sombreamiento de las hojas (Cannell 1985).

Un sistema agroforestal cafetero es un conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo y el agua, y el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras (Farfán, Fernando. 2012).

7.5.2 Beneficios de la aplicación de sistemas agroforestales

En sistemas agroforestales hay mejor conservación de los recursos naturales y menor aplicación de insumos, lo que se traduce en menores costos de producción. Además, la explotación de los productos adicionales de los árboles utilizados para el sombrío (frutos, madera o leña para producción de carbón vegetal) resulta en ingresos adicionales para el agricultor, lo cual ha estimulado recientemente el interés sobre el uso de árboles para sombra, particularmente en áreas donde esa práctica fue abandonada (Beer et al. 1998; DaMatta y Rodriguez, 2007).

Los árboles de sombrío en los cafetales permiten ejercer un control sobre la economía del agua, lo que mitiga los efectos que los periodos de déficit hídrico imponen sobre la producción; también, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, ayudan a reducir la

erosión, reciclan nutrientes y aportan gran cantidad de materia orgánica (Beer, 1987; Kiara y Naged, 1995).

7.6. Café especial

El consumo de Cafés Especiales por su calidad sensorial se ha incrementado en los últimos años en un 25% en Estados Unidos y Europa y EEUU con mejor precio sobre el café estándar. Colombia es uno de los mayores productores de café arábica, considerado un grano de alta calidad para el origen de CE; reconocido mediante bonificación económica en el mercado mundial (Fnc 2018).

El café de Colombia posee una calidad que se ha destacado en el mundo, lo que le ha conferido un gran prestigio, concepto de significativa importancia para el desarrollo de los denominados cafés especiales, siempre que se garantice la calidad, procedencia y aquellos factores naturales y humanos de biodiversidad, cultivo, proceso y tradición, con los cuales los caficultores producen el café en sus fincas, generalmente beneficiando a pequeños productores que establecen sus cultivos en altura. El café colombiano cuenta con ventajas competitivas en el mercado internacional y, de hecho, se les reconoce una prima o sobreprecio debido a varios factores como su origen geográfico, con las respectivas condiciones climáticas y de suelos de sus cultivos, su origen botánico, la especie y variedades sembradas, la cultura cafetera del país y los procesos y operaciones realizados hasta la obtención del producto para exportación y consumo (Puerta, Gloria. 2003).

8. METODOLOGÍA

- **Identificar especies incorporadas en el sistema, árboles promisorios y plantas acompañantes para su aplicación en el cultivo de café de alturas.**
 - Elaborar una matriz de árboles promisorios y plantas acompañantes que puedan ser aplicables en distintos tipos de terrenos teniendo en cuenta la altitud, latitud, radiación y características del suelo.
 - Con la información recolectada anteriormente se procederá a determinar las necesidades de sombra por parte del café que se ha decidido cultivar de acuerdo con la localidad y los árboles que puedan suplirla.

- **Proponer diseño de arreglo vegetal participativo para la producción de café en alturas**
 - Realizar una revisión bibliográfica sobre los diferentes tipos de arreglos forestales para su aplicación en cafés de altura, definir la ubicación física de los componentes en el lote y el arreglo temporal (secuencia) de acuerdo a las necesidades requeridas.
 - Teniendo en cuenta el arreglo forestal seleccionado definir la disposición o estratificación de los componentes puede ser simple o estar dispuesta en varios estratos (multiestratos).
 - Calcular las distancias y densidades de siembra que se sugieren para el establecimiento del café con sombrío (bajas densidades siembra) o en lotes o fincas arborizadas.

- **Establecer metodología para el establecimiento de sistemas agroforestales sostenibles en alturas.**
 - Realizar propuesta de diseño agroforestal con elementos como usos del suelo, fertilidad del suelo, pendiente del terreno, sistemas agroforestales actuales y sus componentes. Establecer las limitantes, potencialidades y proyecciones relacionadas con el sistema para café en alturas
 - Realizar un diseño mediante la búsqueda y definición de las alternativas de solución o innovación tecnológica, que va a ser aplicada por el productor para mejorar el desempeño del sistema agroforestal del café en alturas, con base en el análisis de la biodiversidad funcional.

9. RESULTADOS

9.1 Climatología Andina

El territorio de la Comunidad Andina se extiende desde los 22° 55' latitud sur hasta los 12° 30' latitud norte, lo que la ubica en las zonas Ecuatorial y Meso tropical del planeta. Esta localización, cercana a la línea ecuatorial, hace que cuente con una alta radiación solar durante todo el año a diferencia de las regiones que se hallan a latitudes más elevadas al norte o al sur, en las cuales se presentan estaciones definidas por fuertes cambios de temperatura. En la región de la Comunidad Andina, es característico encontrar fuertes variaciones de temperatura durante el día, mientras que la temperatura media anual cambia muy poco durante el año y las estaciones se relacionan más con la variación de la cantidad anual de lluvia, que con el cambio de la temperatura media (Encalada y Guhl, 2010). Además, la diferencia de tiempo entre el día y la noche tiende a ser mínima en la medida que la localidad se acerca a la línea ecuatorial (Calle et al 2009).

Las regiones templadas de la zona andina (es decir, entre 1000 y 2000 msnm) son más adecuadas para el café, las flores, el maíz, las frutas y algunas verduras (Ramírez-Villegas et al. 2021), Si bien se debe prestar atención a la adaptación de los sistemas de cultivo anuales a los cambios climáticos futuros que afectaran a la Zona andina, se requiere una acción más urgente para abordar estos problemas, ya que se aplican a los sistemas de cultivo perenne de alto valor. Los cultivos comerciales como el café también pueden tener un gran impacto en las economías nacionales de la región andina (Läderach et al. 2010) por lo cual es de mucha importancia su cuidado y adaptación a estos cambios que ocurrirán en el futuro.

Se espera que la precipitación sea un factor fundamental que impulse los impactos y la adaptación principalmente en tres aspectos: (Läderach et al. 2010) el cambio en la precipitación afectará el crecimiento de las plantas, la producción de biomasa y ejercerá estrés durante períodos fisiológicos clave, (Läderach et al. 2017) el cambio en la precipitación cambiará la disponibilidad de agua del suelo, probablemente aumentar la sequía en algunas

regiones (p. ej., la región del Caribe) y los riesgos de inundación en otras (p. ej., la región del Pacífico); el cambio en la precipitación afectará los factores bióticos (p. ej., plagas, enfermedades, malezas) en los diferentes sistemas de producción (que representan del 20 al 40 % de los costos de producción)(Ramírez-Villegas et al. 2021).

El impacto que ha tenido el café en el desarrollo de Colombia ha hecho que este cultivo haya moldeado el paisaje andino (Guhl A, 2008) y esté ligado al estado actual de la biodiversidad en las laderas montañosas del país entre los 1000 y los 2000 m s. n. m. Algunas de las regiones más biodiversas del mundo, están ubicadas en los Andes tropicales y coinciden con áreas de cultivo de café, cuya biota, en algunos casos, ha logrado adaptarse a este agroecosistema dependiendo de la conformación y características del paisaje.

Se necesita una evaluación integral de los impactos del cambio climático en los sectores más vulnerables de la agricultura colombiana y de las medidas de adaptación más adecuadas (Ramírez-Villegas et al. 2021). Las medidas de adaptación para hacer frente al cambio climático son la transformación de labores o prácticas de manejo. Sin embargo, a niveles más altos de cambio climático progresivo, es probable que se necesite una adaptación transformadora. Esto puede incluir la reconfiguración de uno o más medios de vida, dietas y geografía de los sistemas agrícolas y alimentarios (Kates, et al. 2012; Rickards 2012). La adaptación transformadora, por lo tanto, se refiere a cambios fundamentales en los objetivos (Stafford et al. 2011), como cambiar los medios de vida, incluido mudarse a otra industria o a otra región (Läderach et al. 2017).

Para el 2050, el cambio climático en Colombia probablemente impactará a 3,5 millones de personas, el 14% del PIB nacional correspondiente a la agricultura, el empleo del 21% de la población, las agroindustrias, las cadenas de suministro y la seguridad alimentaria y nutricional. Si no se toman medidas de adaptación, el 80% de los cultivos se verían afectados en más del 60% de sus áreas de cultivo actuales, con impactos particularmente severos en cultivos perennes y exportables de alto valor como es el caso del Café (Ramírez-Villegas et al. 2021).

Los impactos también incluyen la degradación del suelo y la pérdida de materia orgánica en las laderas de los Andes; probables inundaciones en las costas del Caribe y el Pacífico; pérdidas de nicho para café, frutas, cacao y banano; cambios en la prevalencia de plagas y enfermedades; y aumentos en las vulnerabilidades de los pequeños agricultores sin desarrollo técnico. (Ramírez-Villegas et al. 2021)

En América Latina, el cultivo de café arábica juega un papel fundamental en los medios de vida rurales, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible. En los últimos 20 años, las fincas cafetaleras y los paisajes de toda la región han sufrido cambios biofísicos rápidos y profundos en respuesta a los bajos precios del café, las condiciones climáticas cambiantes, los brotes graves de patógenos de plantas y otros factores (Harvey et al. 2021).

9.2 Café y cambio climático

Varios estudios regionales demuestran la sensibilidad climática del café y el probable impacto del cambio climático en su adaptabilidad, el rendimiento, el aumento de la presión de plagas y enfermedades y los medios de subsistencia de los agricultores (Läderach et al. 2017) . Debido al largo tiempo de espera de los sistemas de cultivo perenne y la complejidad de las cadenas de suministro globales para café, es urgente identificar estrategias de adaptación adecuadas (Läderach et al. 2011) para poder hacer frente al cambio climático que está causando sus primeros impactos en la capacidad de adaptación del cultivo del café . Los choques climáticos constantes y variabilidad del clima en general también tienen efectos que duran más allá de la temporada de crecimiento. Los impactos de estos cambios climáticos dejan a los agricultores endeudados, incapaces de invertir en producción, y como consecuencia quedan atrapados en la pobreza. Además, la imprevisibilidad puede impedir la participación en cooperativas y realizar contratos de venta a largo plazo, lo que lleva a una mayor incertidumbre de ingresos y pérdidas económicas (Läderach et al. 2010).

Los modelos climáticos sugieren que las áreas aptas para la producción de café arábica en América Latina pueden reducirse entre un 73% y un 88% para 2050 en diferentes escenarios climáticos, a menos que se implementen rápidamente medidas de adaptación (Imbach et al. 2017).

Una de las consecuencias del calentamiento global es la temperatura más alta en el ambiente la cual acelera la maduración de granos de café, lo que lleva a una taza más pobre en calidad. Además, el café arábico de alto valor, especialmente el que cumple con los títulos de especialidad más lucrativos en los mercados, requiere temperaturas más bajas. Por lo tanto, las variedades que incluyen el grupo arábica que crece actualmente en estas áreas puede necesitar ser reemplazado por café de las variedades robusta de valor más bajo, pastos para ganado y otros cultivos (Läderach et al. 2010).

Se espera que las plagas y enfermedades cambien en el futuro en el café, cabe la posibilidad de que exista una prevalencia del insecto barrenador del fruto o broca del café (*Hypothenemus hampei*) F. y el hongo de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en áreas por encima de los 1500 m.s.n.m. (Jaramillo et al., 2009). Se estima que haya reducciones en el rendimiento y aumentos en los costos de producción debido a la mayor prevalencia de estas enfermedades y la pérdida de nichos climáticos de cultivos, especialmente para cultivos muy específicos como el café (Ramírez-Villegas et al. 2021).

La reducción del suministro de agua podría limitar el cultivo de café y algunos métodos de procesamiento en este caso la aplicación de agroforestería beneficia la producción de café manteniendo la humedad del suelo, protegiendo contra la erosión y los deslizamientos de tierra, y proporcionando sombra a las plantas de café (reduciendo las temperaturas en aproximadamente 4 °C) (Läderach et al. 2010). Proyecciones menos concluyentes también predicen que las precipitaciones seguirán siendo erráticas y exhibirán extremos más grandes, lo que podría causar impacto en el café, cuyo ciclo de producción es altamente dependiente de los patrones de lluvia. la floración en el café es provocada por las primeras lluvias en el

inicio de la temporada de lluvias, pero si la precipitación es excesiva, tanto las flores y los frutos pueden caer del árbol (Läderach et al. 2010) generando pérdidas en el cultivo.

Si bien el área cultivada con café se está contrayendo en muchas regiones, la producción de café también se está expandiendo a nuevas áreas que anteriormente estaban cubiertas por bosques, impulsada en parte por la creciente demanda local y mundial de café (Ico 2019). Aunque sorprendentemente hay poca información sobre la medida en que el café está impulsando la deforestación (Panhuysen y Pierrot 2018), hay evidencia de que la expansión del café está contribuyendo a la deforestación en ciertas regiones (Harvey et al. 2021), sin embargo, los sistemas agroforestales, comúnmente utilizados en los trópicos para producir café, brindan importantes beneficios ambientales, como la biodiversidad (Jha et al. 2014), la acumulación de carbono (Van Rikxoort et al. 2014), el almacenamiento de agua y el control de la erosión (Wardle et al. 2011) (Läderach et al. 2017)

En áreas que se verán afectadas negativamente, la primera etapa de adaptación involucrará intervenciones agronómicas que amortigüen los impactos negativos, incluido el cambio de variedades y el establecimiento de árboles de sombra (incluidos árboles frutales, otros cultivos arbóreos y especies maderables). Este último puede formar la base para una transición hacia la sustitución de cultivos en áreas donde se pronostican impactos negativos particularmente severos (Läderach et al. 2011)

El café requerirá atención especial dada su importancia económica nacional. Las estrategias de adaptación en el café son variadas. En las últimas décadas, dada la especificidad del nicho climático cafetalero, se ha observado la migración altitudinal de las tierras cafetaleras en algunas regiones de Colombia. El sombrío podría ser una estrategia clave en áreas en las que la producción es mayoritariamente de pequeños agricultores. Los aumentos de temperatura requerirán amortiguamiento, especialmente durante los períodos de verano y entre 500 y 1.500 m.s.n.m. La migración de tierras cultivadas hacia áreas más frías (es decir, más altas) en los Andes, si se considera una estrategia viable, deberá ser ambiental y socialmente sostenible (Ramírez-Villegas et al. 2021). La adaptación exitosa de la cadena del café frente

al cambio climático Requerirá más inversión en la construcción de redes de colaboración, compartiendo conocimientos más ampliamente y haciendo inversiones estratégicas participativas para mantenerse en el negocio. Un esquema de pagos por servicios ecosistémicos sería una estrategia ideal sinergizando los objetivos de mitigación de emisiones, conservación de la biosfera y alivio de la pobreza. Podría prevenir la probable fragmentación o explotación de los actuales agro bosques cafetaleros (Läderach et al. 2010) Es necesario desarrollar evaluaciones integrales y holísticas (incluidas las económicas, biofísicas y sociales) basadas en el sector y evaluaciones regionales para determinar tanto los impactos negativos como las posibles oportunidades futuras. La priorización de áreas geográficas y cultivos es necesaria para obtener los fondos nacionales e internacionales necesarios (en discusión a nivel internacional) para abordar completamente los problemas relacionados con la adaptación (Ramírez-Villegas et al. 2021).

9.3 Beneficios del cafetal con sombra, especies a incorporar en el sistema, árboles promisorios y plantas acompañantes para su aplicación en el cultivo de café de alturas.

El uso de la sombra en el cultivo de café posee muchas funciones, entre las que destacan el efecto sobre la cantidad de luz (a mayor cantidad de luz, mayor temperatura), incidiendo en la realización de la fotosíntesis, la instauración de un microclima apropiado para la producción del café y el mantenimiento de la fertilidad del suelo. Un buen manejo de la sombra se convierte en una labor importante en el cultivo del café. Se describen a continuación las especies claves para el establecimiento de agroforestería con café, se tendrá en cuenta como altitud máxima hasta los 2300 msnm para la aplicación de los sistemas agroforestales de café en alturas debido a que no se cuenta con evidencia científica de su cultivo a alturas mayores, con este parámetro se hará la elección de las especies a incorporar en el sistema. La altitud influye notablemente en la calidad del grano, a mayor altura se produce una bebida más aromática y con mayor acidez (Jiménez, 2012).

9.3.1 Especies clave: Son aquellas que tienen un efecto desproporcionadamente alto en la comunidad en la que viven en relación con su biomasa (Murcia, C. 1995). Su clasificación es

compleja para cada especie de árbol o arbusto de los bosques de zona cafetera , sin embargo, sí es posible recalcar algunos por los beneficios que prestan a otras especies de forma específica; por ejemplo, producir flores, frutos u otros alimentos en abundancia, producir alimentos de alto valor nutricional para la fauna, tener una estructura que provee de forma especial sitios de anidación y refugio para los animales, o brindar un servicio fundamental en la cadena de relaciones que se da entre las especies en los ecosistemas (Rocío Espinosa, Andrés M. López. 2019). Las especies claves son de mucha importancia para el establecimiento de sistemas agroforestales. Deben ser identificadas e incluidas en los sistemas agroforestales de manera precisa.

9.3.2 Especies pioneras o de ciclo corto: son de importancia en la implantación de los sistemas, aportan a la generación de cobertura vegetal rápida y el aporte de nutrientes al suelo. El rápido crecimiento de este tipo de especies acelera su proceso de reproducción, por lo que son una fuente rápida de alimento para la fauna al producir flores y frutos a edad temprana Su ciclo de vida es corto, entre 10 a 30 años, generalmente, pero cuando desaparecen dan paso al desarrollo de otras más longevas y exigentes, que han ido creciendo lentamente bajo su sombra y cuidado (Espinosa & López ,2019).

9.3.3 Especies de bosques maduros: son especies que germinan y se desarrollan, generalmente, cuando ya existe un bosque en el lugar y se cumple con una serie de características que los otros árboles, incluyendo las especies pioneras, les proporcionan. Son de crecimiento lento y desarrollo sexual tardío pero longevos, por lo que permanecen muchos años en el bosque produciendo comida y suministrando hábitat para los demás árboles.

9.3.4 Criterios para seleccionar las especies apropiada en un sistema agroforestal

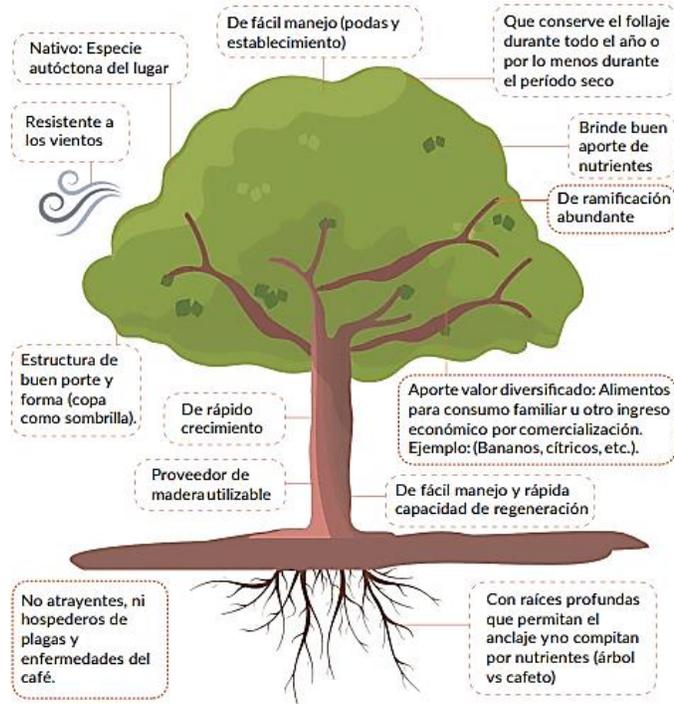


Figura 1. Características deseables de un árbol de sombra. Fuente (Mocca, 2016).

Para la selección de especies se utilizaron diferentes criterios, cada uno con peso específico (Cuadro 1), que permitieron establecer cuál especie es la más adecuada para el diseño del SAF para café de altura. El valor de cada criterio se determinó tomando en cuenta la revisión de literatura encontrada sobre las especies. Cada criterio posee un valor, donde 1 significa bajo, 2 regular, 3 intermedio, 4 sobresaliente, 5 excelente que sería el valor más alto y la condición optima que se busca para la especie en la aplicación del SAF.

Tabla 1. Criterios para seleccionar la especie apropiada en un sistema agroforestal

Criterio (Árbol)	Puntuación: (1,2,3,4,5)
Nivel de sombra que produce	
Tamaño de la copa	
Múltiples usos	
Aporte nutricional al suelo	
Tolerancia a plagas	
Competencia con el café	
Disponibilidad de semillas	
Adaptabilidad a la altura	

Fuente: El autor

Mediante la revisión bibliográfica sobre las especies que pueden ser parte del arreglo forestal se logró establecer la matriz con las variedades acompañantes y se realiza una descripción general de las mismas para su aplicación en el sistema agroforestal con café de altura más adecuado, se muestra el manejo que se le debe dar y los aportes que estas proporcionan en el sistema. Las especies presentadas en la matriz son las que obtuvieron los desempeños más altos de acuerdo a los criterios de selectividad descritos anteriormente (cuadro 1).

En la práctica, existe gran diversidad de sistemas que han sido desarrollados en respuesta a las circunstancias particulares de cada sitio. Por lo tanto, no existe un procedimiento aplicable en específico; lo recomendable es conocer las condiciones particulares del lugar y, luego, adaptar los sistemas de interés según las condiciones propias de la zona.

Tabla 2. Matriz arboles promisorios, especies pioneras y de ciclo corto.

	Nombre	Descripción	Manejo
	<p><i>Magnolia hernandezii</i> (Lozano) Govaerts. Familia Magnoliaceae Guanábano de monte, molinillo</p>	<p>Hábito. Árbol con escasa regeneración e individuos aislados. Alcanza una altura de 35 metros y diámetro mayor a un metro. Tallo. Recto. Copa. Compacta, piramidal cuando joven y, luego globosa, que resulta siempre atractiva. Clima y ubicación: Precipitación. Hasta 2.000 mm/año. Altitud. 1.700 y 2.200 m.</p>	<p>Tolerancia a la sombra. Árbol de dosel emergente, de bosque subandino nublado o muy nublado y húmedo. Se cultiva a pleno sol o a media sombra. Sistema agroforestal. Cercas vivas, linderos con árboles, barbechos mejorados.</p> <p>Especie endémica de las montañas de la cuenca del río Cauca de alto valor de conservación</p>
	<p><i>Magnolia caricifragans</i> (Lozano) Govaerts. Hojarasco Familia Magnoliaceae</p>	<p>Hábito. Árbol de más de 15 m de altura y DAP de 0,65 m. Tallo. Recto, de leño duro y corteza gris ahumada. Copa. Piramidal frondosa. Clima y ubicación: Precipitación. 1.800 a 2.800 mm/año. Temperatura. 16 a 19°C. Altitud. Entre 1.600 a 2.200 m.</p>	<p>Tolerancia a la sombra. Exige condiciones de semipenumbra en las primeras etapas de desarrollo. Sistema agroforestal. Cercas vivas, linderos con árboles, barbechos mejorados. Especie endémica de Colombia con alto valor de conservación.</p>

	<p><i>Podocarpus oleifolius</i> D. Don. ex Lambert.</p> <p>Familia Podocarpaceae</p> <p>Chaquiro, pino colombiano, pino romerón</p>	<p>Hábito. Puede medir hasta 40 m de altura y su tronco alcanza 1 m de diámetro.</p> <p>Tallo. Su tronco es asimétrico, con corteza pardo-amarillenta.</p> <p>Copa. Grande e irregular.</p> <p>Clima y ubicación: Precipitación. 1.000 a 4.000 mm/año. Temperatura. Medias anuales de 12 a 18°C. Altitud. Su distribución comprende un rango altitudinal entre 1.500 y 3.700 m.</p>	<p>Tolerancia a la sombra. En diferentes estudios en Colombia se encontró que el <i>Podocarpus oleifolius</i> comparte estratos arbóreos con otras.</p> <p>Sistema agroforestal. Esta especie está siendo impulsada en reforestación de zonas degradadas y es empleada como cerca viva; también puede ser empleada para cultivos en callejones.</p>
	<p><i>Juglans neotropica</i> Diels.</p> <p>Familia Jugandaceae</p> <p>Cedro negro, nogal</p>	<p>Hábito. Árbol de crecimiento lento, aunque alcanza hasta 40 m de altura, con DAP de 40 a 60 cm.</p> <p>Tallo. Tallo recto y corteza rojo parda.</p> <p>Copa. Ovalada</p> <p>Clima y ubicación: Precipitación. 1.000 a 3.000 mm/año. Temperatura. 16 a 22°C. Altitud. Entre los 1.000 y 3.500 m.</p>	<p>Tolerancia a la sombra. Es una especie parcialmente tolerante a la sombra, especialmente en sus primeros estados de desarrollo.</p> <p>Sistema agroforestal. Es común encontrar el nogal como una importante especie ornamental en forestería urbana y como sombrío del café</p> <p>Especie de alto valor para la conservación con categoría de amenaza CR (En Peligro Crítico - UICN 2022).</p>

	<p><i>Quercus humboldtii</i></p> <p>Bonpl.</p> <p>Familia</p> <p>Fagaceae</p> <p>Roble, algarrobo, roble colorado</p>	<p>Hábito. Árbol de 30 m de altura y DAP de 30 a 45 cm.</p> <p>Tallo. Grueso, rugoso y blanquecino.</p> <p>Copa. Redondeada.</p> <p>Clima y ubicación: Precipitación. 1.500 a 2.500 mm/año. Temperatura. 16 a 24°C. Altitud. Entre los 1.000 y 3.600 m.</p>	<p>Tolerancia a la sombra. Especie muy exigente a la luz, no se desarrolla bien a la sombra.</p> <p>Sistema agroforestal. Especie que puede ser utilizada para proveer sombra; por lo tanto, es de utilidad para incorporarla como componente arbóreo en el café, solo en un número limitado de individuos/ha por el exceso de sombrío cuando es adulto. Especie de alto valor para la conservación por ser endémica de las tierras altas de los Andes, al norte de Sudamérica. Está en categoría de Vulnerable (UICN 2022).</p>
	<p><i>Aniba perutilis</i></p> <p>Familia</p> <p>Lauraceae</p> <p>Hemsl. Laurel, comino, laurel comino</p>	<p>Hábito. Árbol mediano hasta grande, hasta de 30 m de altura. DAP de 40 a 60 cm de diámetro. Madera amarilla y aromática.</p> <p>Tallo. Su fuste es de buena forma y su longitud comercial está entre los 15 y 18 metros.</p> <p>Copa. Estrecha de forma irregular. Clima y ubicación: Precipitación. 1.900 a 4.000 mm/año. Temperatura. Medias de 26°C. Altitud. Desde el nivel del mar hasta los 2.400 m.</p>	<p>Tolerancia a la sombra. Especie parcialmente tolerante a la sombra. De forma solitaria crece favorablemente en suelos de bosques nublados o selvas húmedas y, algunas veces en grupo, sobre los filos de montaña.</p> <p>Sistema agroforestal. Como sombra para otras especies, entre ellas el café y en áreas de conservación. Crece muy lento. Especie de alto valor de conservación, endémica de Colombia y en peligro crítico (UICN 2022)</p>

	<p>Chachafruto (<i>Erythrina edulis</i> <i>Micheli</i>) Familia Fabaceae. Balú, fríjol balú.</p>	<p>Hábito. árbol mediano, que alcanza alrededor de los 8 m de altura Tallo. Leñoso con espinas puede alcanzar diámetros de 37 cm. Copa. Amplitud de copa media Ubicación: Altitud. Entre 1.400 a 2.600 m de altitud en Colombia</p>	<p>Tolerancia a la sombra. El hábitat que generan es apropiado para el crecimiento de otras especies más exigentes en cuanto a sombra, protección del viento y calidad del suelo. Sistema agroforestal. aporte de nitrógeno que brinda al suelo y su rápido crecimiento son características deseables en el sombrío. El fruto es una legumbre de gran tamaño de 32 cm, aproximadamente, llegándose a encontrar vainas de hasta 55 cm, con seis semillas en promedio en su interior.</p>
	<p>Magnolia <i>yarumalensis</i> (<i>Lozano</i>) <i>Govaerts.</i> Familia Magnoliaceae Almanegra de Yarumal Gallinazo morado</p>	<p>Hábito. Árbol de 20 m de altura. Tallo. Árbol recto de corteza color gris y olor a aguacate, madera blanca con el centro negro. Copa. Árbol piramidal, ramificado desde la base, abierto y poco denso. Ubicación: Altitud. 1.800 a 2.800 m</p>	<p>Tolerancia a la sombra. Especie exigente en luz. En algunos fragmentos presenta sociabilidad dominante y codominante. Sistema agroforestal. Se encuentran en fragmentos muy pequeños de bosque secundario, ubicados en cumbres de montañas, en colinas o conformando franjas de vegetación protectora de quebradas. Especie endémica de Colombia en Peligro” (EN) en el Libro Rojo de Plantas de Colombia (Calderón et al 2007) y en peligro crítico (UICN 2022)</p>

	<p><i>Solanum inopinum</i> Ewan.</p> <p>Familia Solanaceae</p> <p>tachuelo azul, almanegra y cujaco.</p>	<p>Hábito. 25 m de altura</p> <p>Tallo. Se caracteriza por tener espinas en tronco y ramas</p> <p>Copa. Árbol piramidal, ramificado desde la base, abierto y poco denso.</p> <p>Ubicación: Altitud. 1.500-2.500 m</p>	<p>Tolerancia a la sombra. El hábitat que generan es apropiado para el crecimiento de otras especies más exigentes en cuanto a sombra, protección del viento y calidad del suelo.</p> <p>Sistema agroforestal. fundamentales cuando se realizan actividades de reforestación y restauración. Son de rápido crecimiento y crecen en áreas abiertas y degradadas, por lo tanto, son útiles para generar cobertura vegetal de forma rápida y aportar nutrientes al suelo</p>
---	--	---	---

	<p><i>Montanoa quadrangularis</i> Schultz Bipontianus. Familia Asteraceae Arboloco</p>	<p>Hábito. 4 a 15 m de altura, llegando a alcanzar los 20 m Tallo. Árbol ramificado, con tallos erectos y sin espinas Copa. Poco densa y triangular Ubicación: Altitud 1.200 m a 2.800 m</p>	<p>Tolerancia a la sombra. El hábitat que generan es apropiado para el crecimiento de otras especies más exigentes en cuanto a sombra, protección del viento y calidad del suelo. Sistema agroforestal. Fundamentales cuando se realizan actividades de reforestación y restauración. Son de rápido crecimiento y crecen en áreas abiertas y degradadas, por lo tanto, son útiles para generar cobertura vegetal de forma rápida y aportar nutrientes al suelo. Es ideal para cercas vivas y barreras rompevientos en la periferia de los cultivos</p>
	<p><i>Verbesina arborea</i> Kunth. Familia Asteraceae Camargo, Colla, colla blanca.</p>	<p>Hábito. 2 a 4 m, e incluso hasta 6 metros en climas más fríos Tallo. Árbol ramificado, con tallos erectos y sin espinas Ubicación: Altitud 1.200 m a 2.800 m</p>	<p>Tolerancia a la sombra. El hábitat que generan es apropiado para el crecimiento de otras especies más exigentes en cuanto a sombra, protección del viento y calidad del suelo. Sistema agroforestal. Fundamentales cuando se realizan actividades de reforestación y restauración. Son de rápido crecimiento y crecen en áreas abiertas y degradadas, por lo tanto, son útiles para generar cobertura vegetal de forma rápida y aportar nutrientes al suelo.</p>

	<p><i>Trichanthera gigantea</i> (Humboldt et Bonpland) Nees), Familia Acanthaceae Nacedero, Quebrabarrigo, madre de agua.</p>	<p>Hábito. 9 a 10 m de altura, aunque puede llegar a los 17 m Tallo. Con uno o varios troncos cilíndricos, cuya ramificación empieza cerca a los 2 metros. Copa. Globosa o piramidal de follaje espeso. Ubicación: Altitud 0 y 2.150 m</p>	<p>Tolerancia a la sombra. El hábitat que generan es apropiado para el crecimiento de otras especies más exigentes en cuanto a sombra, protección del viento y calidad del suelo. Sistema agroforestal. Fundamentales cuando se realizan actividades de reforestación y restauración. Son de mediano crecimiento y crecen en áreas abiertas y degradadas, por lo tanto, son útiles para generar cobertura vegetal de forma rápida y aportar nutrientes al suelo. Se usan para proteger manantiales, afloramientos de agua y bordes de microcuencas.</p>
	<p><i>Albizia carbonaria</i> Britton. Familia Fabaceae Carbonero, Pisquín, piñón, carbonero dormilón.</p>	<p>Hábito. Alcanza los 20 a 25 m de altura Copa. En forma de sombrilla, con follaje fino y traslúcido Ubicación: Altitud 0 hasta los 2.500 m</p>	<p>Tolerancia a la sombra. El hábitat que generan es apropiado para el crecimiento de otras especies más exigentes en cuanto a sombra, protección del viento y calidad del suelo. Sistema agroforestal. Fundamentales cuando se realizan actividades de reforestación y restauración. Son de rápido crecimiento y crecen en áreas abiertas y degradadas, por lo tanto, son útiles para generar cobertura vegetal de forma rápida y aportar nutrientes al suelo. Sombra tenue ideal para café.</p>

	<p>Variedad mejorada de frijol arbustivo ICA-Bachué</p> <p>Familia Fabaceae (<i>Phaseolus vulgaris</i>)</p>	<p>Habito. Buen potencial de rendimiento, adaptación al clima frío, crecimiento arbustivo, tallo erecto altura 15 cm</p> <p>Clima y Ubicación: Altitud 2000 a los 2750 msnm</p>	<p>Sistema agroforestal. Aporte de materia orgánica y ciclaje de nutrientes, su ciclo de vida oscila entre 140 y 160 días, dependiendo de la altitud es resistente a las enfermedades prevalentes en clima frío y tiene maduración uniforme. Sirve para complementar la actividad cafetera como cultivo de seguridad alimentaria</p>
	<p>Tefrosia (Tephrosia candida Pers)</p> <p>Familia Fabaceae</p>	<p>Habito. Alcanza hasta los 3 m de altura.</p> <p>Clima y Ubicación: Temperatura entre 18°C y 30°C Altitud 700 a los 2200 msnm</p>	<p>Sistema agroforestal. Capacidad para dar sombra en fases de establecimiento y brindar protección en condiciones climáticas adversas, ayudar a la conservación del suelo y ser fáciles de eliminar.</p>

Fuente: El autor

9.4. diseño de arreglo vegetal participativo para la producción de café en alturas

9.4.1 Criterios para el diseño de sistemas agroforestales con café

El establecer cuál sistema agroforestal instaurar, dependerá de los objetivos del productor, las características del sitio (suelo, clima, topografía y otros.), las condiciones socioeconómicas (disponibilidad de mano de obra, cantidad de terreno efectivo), las características de las especies involucradas (árboles y cultivos) y del manejo de los componentes, Del mismo modo, el sistema agroforestal está relacionado directamente con los productos que se esperan conseguir (Barrantes Et al, 2013).

En el establecimiento para el sistema agroforestal con café en altura se presentan tres tipos de arreglos los cuales fueron elegidos por el aporte que dan al sistema con las interacciones positivas entre arboles promisorios, plantas acompañantes y el cultivo de café.

9.4.2 Sistemas agroforestales propuestos

Para el diseño de SAF con café deben considerarse los siguientes criterios: 1. Definir los objetivos del SAF. 2. Identificar las características del sitio donde se establecerán los árboles 3. Identificar los árboles que se desarrollan adecuadamente en las condiciones de la finca. 4. Identificar que productos y servicios son esperados de los árboles de sombrero. 5. Realizar un listado de las especies a elegir. 6. Recopilación de información sobre los árboles. 7. Planificar prácticas de manejo de los árboles seleccionados. 8. Prever todas las actividades de manejo a lo largo del tiempo, desde el establecimiento hasta por lo menos 30 años dado los ciclos de vida de las especies forestales involucradas.

Anteriormente se realizó la matriz con los árboles promisorios, especies pioneras y de ciclo corto que podrían ser aptas para ser establecidas en un sistema agroforestal con café en alturas, sin embargo, se debe hacer un análisis exhaustivo de las condiciones propias de la

finca para poder realizar el diseño adecuado. Se muestra a continuación los sistemas agroforestales propuestos para el establecimiento con café.

Árboles en los cultivos al triángulo.

Se establecen los árboles a 12,0 x 12,0 x 12,0 m, para una densidad de siembra de 80 árboles por hectárea que deben plantarse en curvas a nivel de la pendiente. Como sombrío del café Farfán (2014) no recomienda sembrar más de cuatro especies de árboles bajo este sistema, sin embargo otros autores en América Central prefieren una densidad de 120 árboles/ha y en el caso de El Salvador demuestran que los bosques cafetaleros albergan 209 especies de árboles nativos y 21 exóticas que contribuye a que se registren 188 especies de aves, 101 residentes y multitud de migratorias (42 de estas amenazadas y 19 en peligro de extinción a nivel local) (Asturias y Zepeda, 2020).

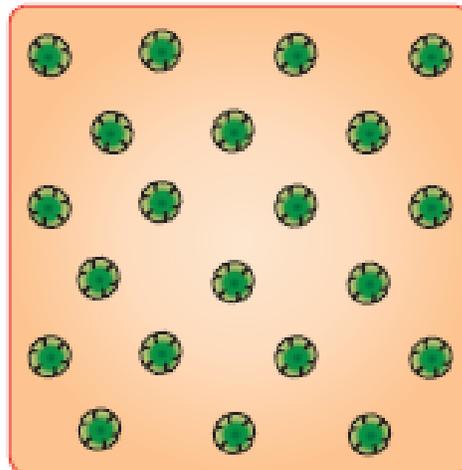


Figura 2. Diseño de Árboles en los cultivos al triángulo. Fuente (Farfán, 2014).

Árboles en los cultivos, al cuadro.

Se establecen los árboles a 12,0 x 12,0 m, para una densidad de siembra de 70 árboles por hectárea que deben plantarse en curvas a nivel

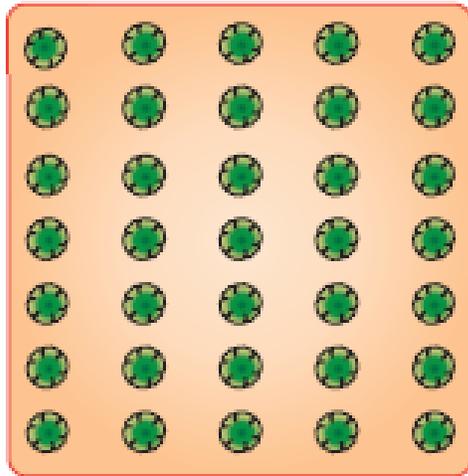


Figura 3. Diseño de Árboles en los cultivos al cuadrado. Fuente (Farfán, 2014).

Cultivos en callejones. Se pueden establecer seis líneas o surcos de árboles en una hectárea de terreno, con separaciones de 14,3 m entre cada línea; si los árboles se siembran a distancias de 8,6 m entre ellos, se obtiene una densidad de 70 árboles por hectárea. En los callejones se siembra el café (Farfán, 2014).

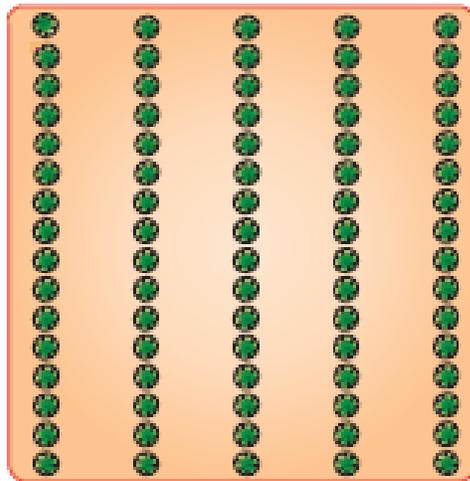


Figura 4. Diseño de Árboles en los cultivos en callejones. Fuente (Farfán, 2014).

Las características del sitio pueden condicionar el objetivo del SAF, así como las especies por utilizar, los recursos necesarios y la intensidad de las actividades para su establecimiento, mantenimiento y manejo (Barrantes Et al, 2013).

Tipos de sombrío

Es importante la regulación del sombrío con el fin de conservar los porcentajes de sombra dentro de un rango óptimo, para evitar la reducción de la producción del Café, por lo cual se muestran diferentes arreglos que representan el orden de los componentes en el espacio y tiempo y disposiciones que se refieren a las estratificaciones de los componentes dentro del sistema, acordes a la necesidad del caficultor tales como (Torquebiaeu, 1993):

Mixto: Es un arreglo donde los componentes fueron establecidos de manera deliberada en los lotes, no están dispuestos geoméricamente (Figura, 4), como es el caso de la caficultura tradicional (Rice, 1997; Perfecto et al., 1996)

Zonal: En este arreglo, los componentes están organizados geoméricamente dentro del lote (Figura, 4). En el caso particular del café se emplea una sombra de forma sistemática, buscando un nivel de sombrío óptimo con arreglos espaciales definidos. Los géneros Inga, Albizia y Erythrina son las especies arbóreas comúnmente empleadas para sombrío (Federación Nacional de Cafeteros, 1997; Rice, 1997).

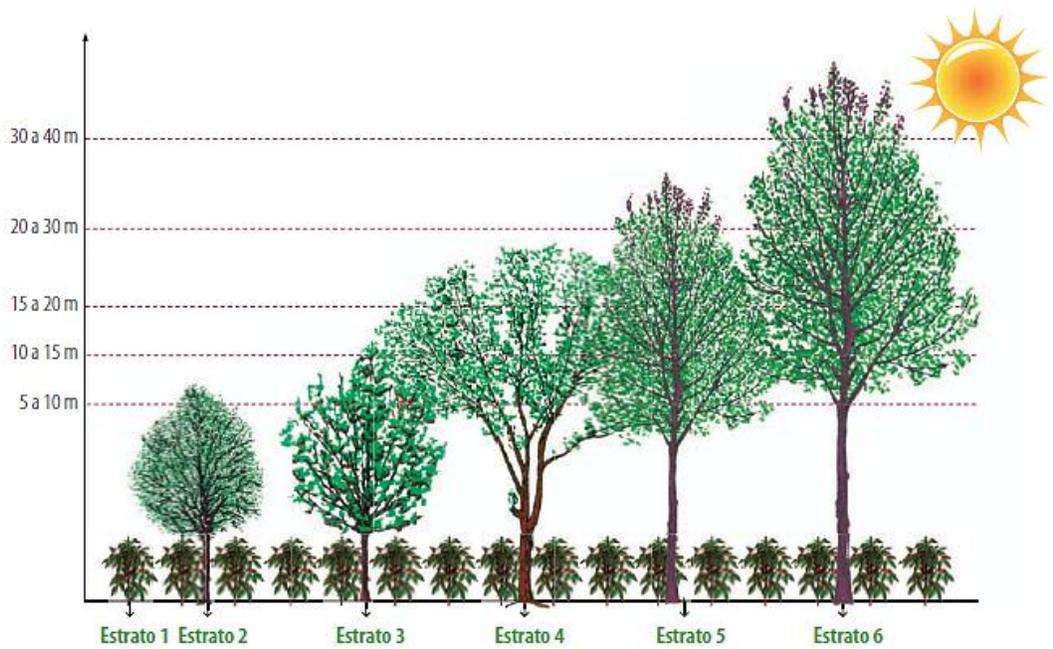


Figura 5. Cultivo de café con sombrero diverso tecnificado, fuente (Farfán, 2014).

En Relación a la disposición puede ser simple o en multi estratos.

Estratos simples: en esta disposición solo hay una capa de árboles (figura 7).

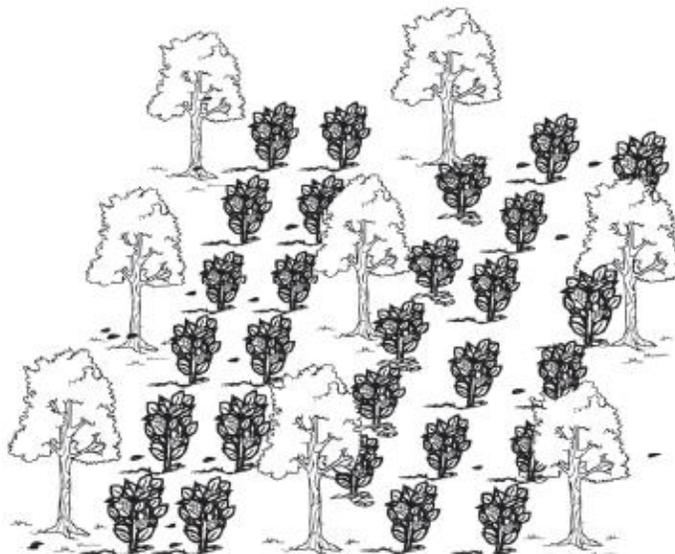


Figura 6. Sombrero del café en estrato simple, fuente (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

Multiestratos: Se refiere a varias capas de árboles en disposición estratificada, en café con sombrío se pueden establecer diversas especies simultáneamente (figura, 8).

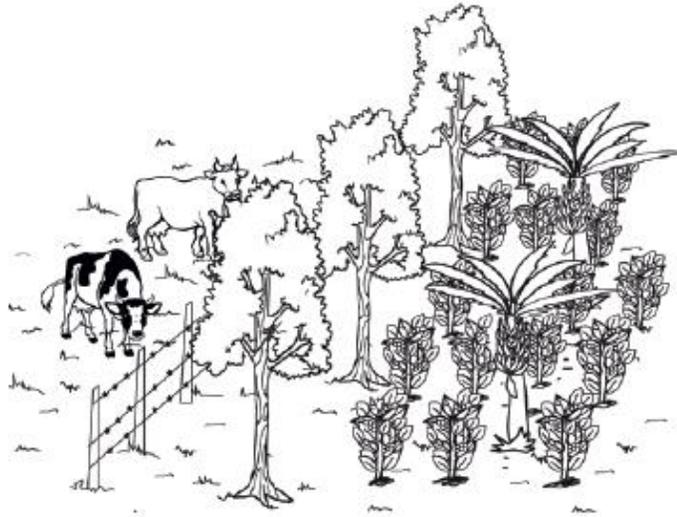


Figura 7. Sombrío del café en multiestrato, fuente (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

9.4.3 Consideraciones para el establecimiento y manejo de los árboles en sistemas agroforestales

La preparación correcta del terreno, antes de la plantación y durante esta, junto con un mantenimiento adecuado después de la siembra, harán viable que los árboles superen el estrés de pasar del vivero al campo (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013), desarrollen bien sus raíces y crezcan de manera adecuada.

Antes de la plantación de árboles, se deben prever los recursos necesarios (dinero y/o tiempo) para su mantenimiento. Una selección apropiada de las especies, se recomienda emplear especies de copa pequeña o poco densa para minimizar la competencia por luz con los cultivos asociados (Barrantes et al, 2013). Es importante considerar todas estas variables en el momento de siembra, esto puede conllevar a una menor exigencia del mantenimiento. Un monitoreo regular por parte del productor es esencial para el éxito.

Fertilidad del suelo

Se recomienda realizar el establecimiento de los árboles en buenos suelos o en sistemas agroforestales con cultivos de manejo intensivo, donde hay mayor probabilidad de conseguir resultados satisfactorios en menor tiempo (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

Es recomendable que se realice un análisis de laboratorio, para conocer mejor las características químicas y físicas del suelo (fertilidad, contenidos de arcillas, grado de acidez, aluminio, hierro, densidad aparente, materia orgánica entre otros) y biológicas (hongos, bacteria, micorrizas, macroinvertebrados) que pueden afectar el desarrollo de los árboles con esto se tendrán mayores herramientas para realizar el establecimiento del sistema agroforestal.

Limpieza del terreno

El manejo de la vegetación acompañante se realiza para facilitar el establecimiento de los árboles, asegurar su crecimiento y disminuir la competencia. Puede hacerse de forma manual, mecanizada o combinada, dependiendo de los recursos disponibles y de las condiciones del terreno (topografía, suelo, vegetación existente, entre otros) (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

Siembra

Una siembra adecuada es clave para el éxito de la plantación; por lo tanto, es importante capacitar a las personas que llevarán a cabo esta labor. El trazado en curvas a nivel es esencial para prevenir la erosión y es una práctica en desuso que es urgente recuperar. La protección del suelo contra la erosión comienza con un adecuado trazo del cultivo de café, para ello lo más recomendado es la ubicación de los surcos en curvas a nivel que es el trazo de una línea perpendicular a la pendiente, en la cual todos los puntos están alineados al mismo nivel. Las acequias, terrazas, mini terrazas y barreras vivas se construyen sobre curvas a nivel. Cultivando en curvas a nivel se reduce la erosión y aumenta la retención de agua (INTA, 2004). La diversificación de cultivos en forma de rotaciones de múltiples especies, cultivos

de cobertura, agroforestería, policultivos y cultivos intercalados son clave en el proceso de conversión, cuando estas se complementan con aplicaciones regulares de enmiendas orgánicas (residuos de cosecha y compost elaborado a partir de estiércol de animales) se observan sorprendentes efectos sobre la sanidad vegetal, la calidad del suelo y la productividad (Nicholls et al, 2017).

Se debe plantar al inicio de la época lluviosa, para que los árboles puedan desarrollar bien sus raíces al llegar a la época seca (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

Fertilización

Se debe realizar una correcta fertilización según las características del sitio y requerimiento nutricional de la(s) especie(s). Además, cuando sea necesario, se debe realizar un manejo de la acidez y encalado del suelo (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

El tipo y cantidad de materia orgánica a utilizar en el cultivo de café depende de las fuentes locales y del fácil acceso a ellas. Es importante tener en cuenta que el proceso de adopción de la fertilización orgánica tiene, además de fines ambientales y productivos, fines socioeconómicos que buscan mayor autonomía a nivel predial y reducir la dependencia de insumos externos cada vez más costosos. Para la producción de abonos lo ideal es que en la finca se cuente con fuentes de materia orgánica de origen animal, que pueden ser complementadas con otras de origen vegetal como sobrantes de cosecha, residuos de cocina, hojarasca, arvenses, entre otras.

Resiembra

En algunos SAF, donde se emplean árboles en cortinas rompevientos, el replantar es mucho más importante que en plantaciones puras. Es fundamental lograr una alta supervivencia de todos los árboles durante el primer año, dado que espacios vacíos en la línea implicarán zonas de turbulencia, sujeción a vuelcos, y baja efectividad de la cortina (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013).

Las replantaciones deben hacerse máximo un mes después del establecimiento de la plantación inicial (especialmente en zonas con estación seca marcada); para ello, se debe hacer el recuento de árboles muertos y realizar la resiembra.

Protección y mantenimiento de los árboles

La protección y cuidado de los árboles jóvenes es un rubro importante en cuanto a costos de mantenimiento (Oficina Nacional Forestal Costa Rica, 2013). Invertir en mantenimiento permitirá conseguir los objetivos propuestos y obtener árboles de buena calidad. El mantenimiento evita la competencia de los árboles por agua, luz y nutrientes, así como daños o su muerte.

El mantenimiento implica:

1. Manejar selectivamente la vegetación que compite.
2. Realizar podas y Raleos
3. Proteger los árboles contra la acción del ganado (ramoneo).
4. Eliminar las lianas o bejucos (evitar que suban por los árboles e impidan su crecimiento, causen malformaciones o cicatrices en las ramas o provoquen su muerte).
5. Prevenir daños o pérdidas producidos por incendios forestales, plagas o enfermedades y animales o personas.
7. Fertilizar el suelo especialmente con abonos orgánicos.

9.5 Aplicación de sistemas agroforestales con café de altura. Guía Práctica

9.5.1 Consideraciones para la aplicación de sistemas agroforestales con café

Las investigaciones sobre la cantidad de sombra necesaria para el café en sistemas agroforestales y la variabilidad indicada en su heterogeneidad espacial y temporal es muy

escasa, y los resultados de los estudios se han limitado a algunas localidades de la zona cafetera de Colombia.

Las plantas requieren de diferentes proporciones de sombrero, dependiendo de la ubicación geográfica (latitud, altitud) y de la disponibilidad de radiación solar y de agua en el suelo que presente la zona. La radiación global (radiación directa más radiación difusa) presenta modificaciones en sus cantidades diarias, debido a diversos factores, entre ellos la altitud (Farfán & Jaramillo, 2009).

Se considera como un límite de deficiencia hídrica para el café una cantidad de 150 mm acumulados en tres meses continuos, asociada a unos altos niveles de radiación solar, condiciones en las cuales se recomienda establecer los cafetales con árboles de sombrero, (Camargo, 1994). Se ha establecido que, dependiendo de la localidad, el nivel de sombrero óptimo bajo estas condiciones fluctúa entre 35 y 45% (Farfán, 2007), cuando se emplea una sola especie de árbol y con regulación permanente de la sombra.

El sombrero también es recomendable si el relieve es quebrado con pendientes fuertes (>50%), con suelos susceptibles a la erosión, suelos poco profundos y poco estructurados, con bajos contenidos de materia orgánica y baja fertilidad natural, suelos con mal drenaje, con baja permeabilidad y baja retención de humedad (Beer, 1998).

Dadas las características variables de las condiciones fisiográficas y climáticas de la región cafetera de Colombia, es difícil generalizar y establecer un único patrón de sombra para el café, por lo cual es necesario plantear ajustes en el grado de arborización de acuerdo a la especie del árbol de sombrero, la densidad de siembra del café y a las condiciones de sombrero natural (cobertura por nubosidad), presente en la región (Farfán & Jaramillo, 2009).

Por lo tanto, es requisito básico en los sistemas de cultivo de café con sombrero, determinar el denominado “porcentaje de sombrero óptimo” o “grado de sombra adecuado”, el cual depende básicamente de la localidad, de la radiación solar anual (cobertura de nubes o nubosidad) y

de las necesidades del cultivo, pues éste será el reflejo de las reducciones o incrementos de la producción, al establecer el café con el asocio de árboles (Farfán & Jaramillo, 2009).

El aumento en el número de árboles hace que los sistemas de producción de café bajo sombra sean más diversos; pero de acuerdo con Valladares et al.(2005), el incremento en el número de árboles contribuye a la disminución en la intervención o mantenimiento de los árboles (regulación del sombrero), lo que se traduce en pérdida de la estructura heterogénea del sombrero (sombrero adecuado), dando lugar a estructuras más homogéneas (sombrero excesivo), no solo más oscuras sino con una menor distribución espacial de la luz, incrementar el número de árboles por unidad de área, aumenta la diversidad de arquitectura (forma, altura, diámetro del dosel) pero con una baja eficacia en la interceptación de la luz, debido a la variabilidad en el sombrero(Pearcy et al, 2005).

Si se considera que el sombrero para un cafetal, sin que disminuya su producción, debe tener una cobertura máxima de sombra del 45% y que los componentes del sombrero se deben a la suma de un sombrero natural debido a la nubosidad de la región y a un sombrero de los árboles. El máximo sombrero para el café (45%) se establecería para una región con un brillo solar de 2.300 horas por año (Farfán & Jaramillo, 2009).

Por estas razones, generalizar o establecer un valor constante en el número de árboles de sombrero para lograr un porcentaje igual de sombrero para el café, esta proporción de cobertura debe estar sujeto a los diversos factores edáficos y climáticos, especialmente en cuanto al brillo solar, pues la nubosidad de una localidad contribuye en esa sombra en forma natural (Farfán y Jaramillo, 2009).

Si la región presenta una inadecuada distribución de lluvias o tiene suelos con baja retención de humedad, limitaciones físicas o alta radiación solar, se recomienda el uso del sombrero (Farfán y Jaramillo, 2009), ya que éste mejora las condiciones de microclima e incrementa la producción para estas condiciones, aunque la producción es inferior a la obtenida en zonas con clima y suelo óptimos.

9.6 Propuesta de posible Diseño Agroforestal para café de altura.

Para realizar la propuesta del diseño agroforestal se deben definir los objetivos de producción, en el caso de la propuesta los objetivos son: La protección del cultivo, recuperación del suelo, aporte de materia orgánica, ciclaje de nutrientes todo esto con el fin principal de conseguir cafés especiales.

Como se mencionó anteriormente se debe tener en cuenta las características de suelos, condiciones climáticas, altitud, uso y manejo del suelo, y topografía, entre otros. En muchas ocasiones se debe examinar cuáles lotes de la finca reciben mayor beneficio de la asociación con los árboles. En la finca pueden presentarse variaciones en las condiciones de los lotes que la conforman, por tanto, en algunos de estos lotes puede ser útil establecer algún tipo de sombrío o prescindir de este en el caso de la obtención de cafés especiales se debe hacer el análisis del sombrío adecuado y que no genere una pérdida de producción significativa, el hecho de manejar agroforestería para la obtención de café, consigue un beneficio económico que podría suplir la baja en la producción.

Las técnicas Diagnóstico y Diseño del Sistema Agroforestal y Forestería análoga permiten desarrollar sistemas agroforestales en los cuales se desarrolla una estructura vegetal similar al cultivo original, y un microclima donde se recrea un ambiente modificado, permitiendo a muchas especies extender su rango de dispersión y así brindar estabilidad ecológica (Torres, 2008).

Tabla 3. Componentes y funciones dentro del sistema Agroforestal.

Componentes de SAF	Funciones dentro del sistema
Café (<i>Coffea arabica</i>)	Cultivo principal. Valor económico.
Carbonero (<i>Albizia carbonaria</i> Britton), Chachafruto (<i>Erithyna edulis</i>)	Sombrío tenue, reciclaje de nutrientes al suelo, fijación de nitrógeno atmosférico, hábitat para la flora y fauna. Alimento para humanos y animales domésticos (chachafruto)
Nacedero (<i>Trichanthera gigantea</i> (Humboldt et Bonpland) Nees) / Arboloco (<i>Montanoa quadrangularis</i> Schultz Bipontianus) /	Protección del cultivo, protección del suelo, conservación de la humedad del suelo, leña, biodiversidad. Protección de manantiales y microcuencas.
Pino colombiano (<i>Podocarpus oleifolius</i>) Laurel, comino, laurel comino (<i>Aniba perutilis</i>); Cedro negro (<i>Juglans neotropica</i>), Roble andino (<i>Quercus humboldtii</i>) Molinillo (<i>Magnolia hernandezii</i>) y las otras Magnoliaceae nativas	Contribución del cafetalero a la conservación de la flora endémica y amenazada. Hábitat para fauna nativa y migratoria y flora (epífitas y micorrizas). Producción de madera de alto valor
Variedad mejorada de frijol arbustivo ICA-Bachué (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y Maíz (<i>Zea maíz</i>)	Cultivos de valor económico, seguridad alimentaria en la finca, aporte de materia orgánica y ciclaje de nutrientes.
Tefrosia (<i>Tephrosia candida</i>)	Cultivo transitorio, abono verde, fijación de nitrógeno, aporte de materia orgánica, ciclaje de nutrientes, fijación de nitrógeno atmosférico, hábitat para entomofauna benéfica.

Fuente: El autor

Tabla 4. Distribución espacial de cada componente dentro del sistema agroforestal.

Especies	Distancia de siembra (m)		Densidad (plantas/ha)	Numero de ciclos	Duración (Años)
	Entre surcos	Entre plantas			
Carbonero y/o Chachafruto	24,0	12,0	34	Permanente	Indefinida
Pino colombiano molinillos, cedro negro, roble, comino crespo	24,0	24,0	17	Permanente	Indefinida
Café	1,5	2,0	3.300	Permanente	Indefinida
Frijol	0,5	0,3	120.000*	2	1,0
Maíz	1,5	0,2	33.000	1	0,5
Tefrosia	3,0	3,0	1,111	1	2,0 a 3,0

*Dos plantas por sitio

Fuente: El autor

En el cuadro anterior se muestra la distribución espacial de cada especie se establecen 17 árboles de pino colombiano y o las otras especies de árboles nativos con alto valor de conservación para el estrato más alto y 34 árboles de carbonero o chachafruto para el segundo estrato por lo cual se instaura un arreglo en multiestrato.

La secuencia para el establecimiento de todos los componentes es:

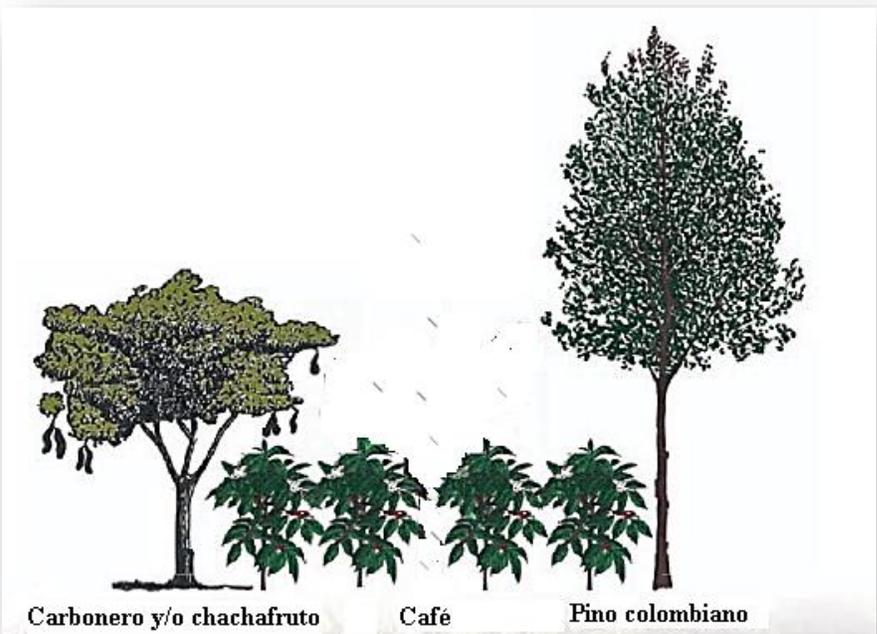
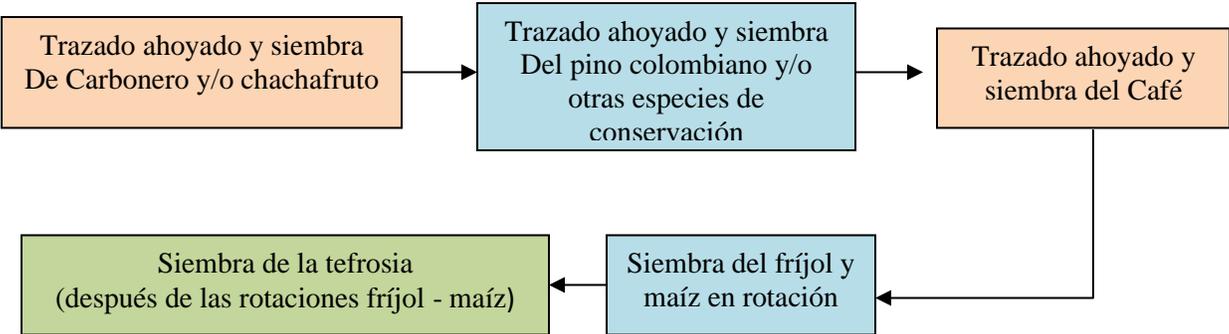


Figura 8. Vista frontal del sistema agroforestal establecido, fuente (Farfán, 2014).

Nota. Adaptado de Farfán (2014).

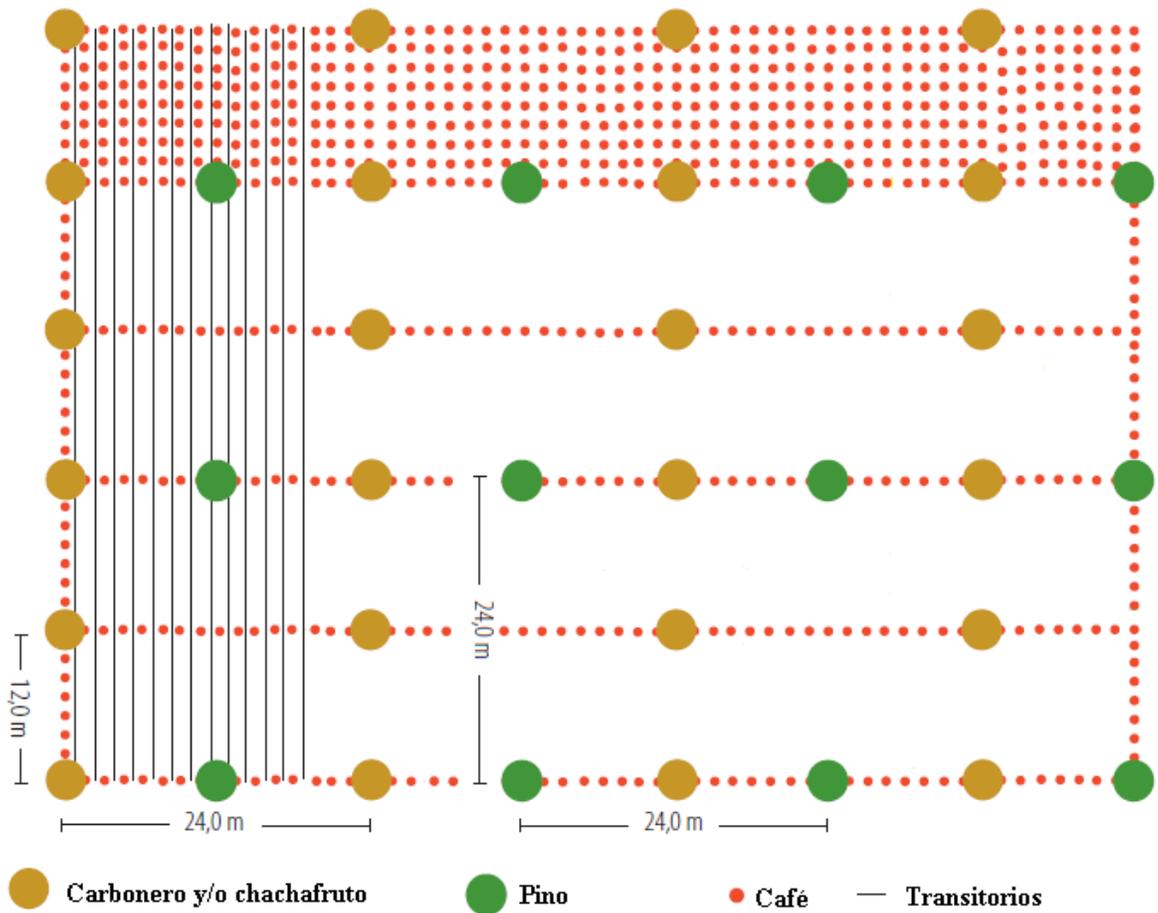


Figura 9. Esquema del establecimiento de los componentes dentro del sistema

En el esquema de establecimiento de los componentes dentro del sistema se precisa el sombrero permanente mixto (diferentes especies de árboles), el cual está conformado por especies leguminosas y otras especies forestales o maderables, se pretende conseguir que estas dejen pasar buena cantidad de luz. Las plantas de sombrero deben manejarse con podas de formación y los residuos vegetales resultantes de esta práctica servirán como aporte de materia orgánica (Farfán, 2000) con lo cual se obtiene un sistema agroforestal asociado con café estable a través del tiempo y que podría ser viable económicamente.

10. CONCLUSIONES

Los sistemas agroforestales adoptados con el cultivo del café (*Coffe arábica*), permiten presentar diferentes arreglos y disposiciones que deben ir acorde a factores ambientales del sitio donde se vaya a emplear el sistema tales como: la altitud, la topografía, el clima, precipitaciones, nubosidad y especies arbóreas asociadas con características idóneas manejadas con prácticas forestales (podas y raleos) a tiempo para que no causen pérdidas de la radiación solar y competencia de nutrientes.

El manejo de una producción agroecológica y por consiguiente las prácticas adecuadas para el establecimiento de agroforestería en asocio con cultivo de café permite al productor obtener beneficios importantes a nivel económico y para la comunidad local y global en general servicios ambientales (agua, biodiversidad, captura de carbono). La adopción de estas prácticas conlleva a la certificación como cafés especiales y por lo tanto a obtener mayor acceso a mercados internacionales.

Los sistemas agroforestales en los cuales se desarrolla una estructura vegetal similar al cultivo original, y un microclima donde se recrea un ambiente modificado, permite a muchas especies extender su rango de dispersión y así brindar estabilidad ecológica, lo cual genera una mayor seguridad en el caficultor, las prácticas de agroforestería hacen más resiliente al cultivo de café ante situaciones de riesgo.

Diferentes investigaciones en Colombia y otros países cafeteros sugieren que el sombrío presenta una serie de ventajas principalmente en climas cálidos y secos, y en suelos con baja retención de humedad y baja fertilidad, condiciones que limitan el crecimiento y el desarrollo del cultivo. Aun no se han desarrollado investigaciones de café en alturas (2000 o más msnm) para conocer los beneficios que esta práctica podría tener y en qué condiciones sería favorable; por lo tanto, el diseño agroforestal diverso que propone este trabajo requiere ponerse a prueba en campo.

11. BIBLIOGRAFÍA

ACERO, L.E. Y BARRERA, N. 1996. Chachafruto *Erythrina edulis* T. Cultivo y aprovechamiento. Universidad Distrital Francisco José de Caldas y Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 242 p.

ASTURIAS, D; ZEPEDA, M. 2020. El café en El Salvador. Revista Forum Café 81. <https://www.revistaforumcafe.com/cafe-de-elsalvador>

BEER J.W, Muschler R.G, Kass D, Somarriba E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164. 1998.

BUNN C, Läderach P, Ovalle Rivera O, Kirschke D (2015) A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Clim Chang* 129:89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>

CALDERÓN S., E.; A. Cogollo P; C. Velásquez R.; M. Serna G. Y N. García.2007. Las magnoliáceas. Pp. 45-154. En: García, N. (ed.). Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 5: Las magnoliáceas, las miristicáceas y las podocarpáceas. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Alexander von Humboldt - CORANTIOQUIA - Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe- Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 236 p.

CALLE Z, Strahler AH, Borchert R (2009) Daily insolation induces synchronous flowering of *Montanoa* and *Simsia* (Asteraceae) between Mexico and the Equator. *Trees* 23:1247– 1254

- CAMARGO A., P. D; Pereira, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. Ginebra, World Meteorological Organization, 1994. 43 p
- CANNELL, MGR. 1985. Physiology of the coffee crop. Pp. 108-134 In: Clifford, MN; Wilson, KC. (Eds.). Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. London, Croom Helm. 457 p.
- CASTILLO-GÓMEZ C., Narváez-Solarte W. & Hahn-Von-Hessberg C.M., 2016.- Agromorfología y usos del *Cajanus cajan* L. Millsp. (FABACEAE). Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas, 20 (1): 52-62. DOI: 10.17151/bccm.2016.20.1.5
- CORPOICA (1994). Variedad de frijol arbustivo para clima frio. Bogotá D.C, Colombia. Plegable divulgativo No 278. 1994.
- DUQUE ESCOBAR, G. (2003). *Dinámicas del clima andino colombiano*. Circular RAC.
- COMITE DEPARTAMENTAL DE CAFETEROS DE CALDAS. El caficultor. 251 ed. Manizales: Comité Departamental de Cafeteros de Caldas; Manizales-Caldas, 2010. 18 p.
- DAMATTA, F.; RODRIGUEZ, N. Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: An agronomic and ecophysiological approach. *Agronomía colombiana* 25(1):113-123. 2007.
- ENCALADA Gabriela, Guhl Nannetti, Ernesto. El agua de los Andes, un recurso clave para el desarrollo e integración de la región. Comunidad Andina. 2010. http://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/AGUA_DE_LOS_ANDES.pdf
- ESPINOSA Roció, López Andrés. Árboles Nativos importantes para la conservación de la biodiversidad Propagación y Uso En Paisajes Cafeteros, FNC-Cenicafé-2019.

FARFÁN VALENCIA, Fernando. Sombríos transitorios para el establecimiento de café. Manizales, Caldas (Colombia), Cenicafé-FNC, 2016.

FARFÁN VALENCIA, Fernando. Producción de café en sistemas agroforestales. In: Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé-FNC, 2007. p. 161-200.

FARFAN VALENCIA, Fernando. Agroforestería y Sistemas Agroforestales con Café. Manizales, Caldas (Colombia), 2014. 342 p.

FARFAN VALENCIA, Fernando. Arboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. Manizales, Caldas (Colombia), 2012.

FARFÁN, Fernando y Robledo Álvaro 2009. Sombrío para el Cultivo del Café según la Nubosidad de la región. En: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FNC y Centro de Investigaciones en café - Cenicafé. 2009. Avance técnico 379 Programa de investigación científica Cenicafé. Bogotá, Colombia.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS – FNC. 2018. Informe de Gestión. Rentabilidad, legitimidad y resiliencia. Bogotá, Colombia. 75 p.

FNC. Documento estrategico: Sostenibilidad de la caficultura colombiana. I. Diagnostico climatico. II. Alternativas de adaptacion para la caficultura. FNC, Manizales - Caldas (Colombia). 2011. 36 p.

FERNÁNDEZ, Gabriel Vicente. Propuesta de un diseño agroforestal con café (coffea arabica, linn) y manejo orgánico en la región de Monteverde, Costa Rica. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal con el grado académico de licenciatura: Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela De Ingeniería Forestal, 2018

HARVEY CA, Saborio-Rodríguez M, Martínez-Rodríguez MR, Viguera B, Chain-Guadarrama A, Vignola R, Alpízar F (2018). Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agric Food Secur* 7:57. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>

HARVEY CA, Pritts A, Zwetsloot M, Jansen K, Pulleman M, Armbrrecht I, Avelino J, Barrera J, Bunn C, García J, Isaza C, Muñoz-Ucros J, Pérez-Alemán C, Rahn E, Robiglio V, Somarriba E, Valencia V (2021). Transformation of coffee-growing landscapes across Latin America. A review. *Agronomy for Sustainable Development* <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00712-0>

ICO (2013) Statistics on coffee: historical production data worldwide. In Organization ICO (ed.) Retrieved July, 2016, from: http://www.ico.org/trade_statistics.asp

IMBACH P, Fung E, Hannah L, Navarro-Racines CE, Roubik DW, Ricketts TH, Harvey CA, Donatti CI, Läderach P, Locatelli B, Roehrdanz PR (2017) Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *PNAS* 114(39):10438–10442. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617940114>

JARAMILLO J, Chabi-Olaye A, Kamonjo C, Jaramillo A, Vega FE, Poehling H-M, Borgemeister C (2009) Thermal Tolerance of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of Climate Change Impact on a Tropical Insect Pest. *PLoS ONE* 4:e6487.

JHA S, Bacon CM, Philpott SM, Ernesto Mendez V, Läderach P, Rice RA (2014) Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. *Bioscience* 64:416–428

JIMÉNEZ, G; Siles, P; Bustamante, O; Rapidel, B; Staver, C. 2012. Optimizing timber production and carbon storage of *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla* in coffee agroforestry systems in Honduras. ASIC 2012, 24th International Conference on Coffee Science, [Costa Rica, 12-16 nov. 2012].

KATES RW, TravisWR, Wilbanks TJ (2012) Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *Proc Natl Acad Sci U S A* 109(19):7156–7161

KIARA, J.M.; NAGED, T.F. Establishment of rust resistant arabica coffee cultivar under temporary shade and inorganic fertilizer regimes in Papua Nueva Guinea. p. 816-820. En: *Colloque Scientifique International Sur le Cafe* (16 : Avril 9-14 1995 : Kyoto). Paris : ASIC, 1995. 345 p.

LÄDERACH P, Hagggar J, Lau C, Eitzinger A, Ovalle O, Baca M, Jarvis A, Lundy M. 2010. Mesoamerican coffee: Building a climate change adaptation strategy. *CIAT Policy Brief no. 2*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.

LÄDERACH P, Lundy M, Jarvis A, Ramirez J, Perez E, Schepp K, Eitzinger A. 2011. Predicted Impact of Climate Change on Coffee Supply Chains. *Climatic Change* in press.

LÄDERACH P, Jarvis A, Ramirez J (2008) The impact of climate change in coffee-growing regions. In: *Taller de Adaptacion al Cambio Climatico en las Comunidades Cafetaleras de la Sierra Madre de Chiapas*, Tuxtla Gutierrez, Chiapas, 17–18 Nov 2008

LÄDERACH P, Ramirez-Villegas J, Navarro-Racines C, Zelaya C, Martinez-Valle A, Jarvis A (2017) Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Clim Chang* 141(1):47–62. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>

LÄDERACH P, Hagggar J, Lau C, Eitzinger A, Ovalle O, Baca M, Jarvis A, Lundy M. 2017. Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change* (2017) 141:47–62

MARTÍNEZ CASTILLO, Róger. Sistemas de producción agrícola sostenible, *Tecnología en Marcha*, Vol. 22, N.º 2, pp. 23-39. Abril-junio 2009

MÉNDEZ Ernesto, C. M.Z. (2010). Effects of Fair Trade and organic certifications on smallscale coffee farmer households in Central America and Mexico. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 236-251.

MONTAGNINI, F; Somarriba, E; Murgueitio, E; Fassola, H; Eibl, B. 2015. *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie técnica. Informe técnico 402.* CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454p.

MONTAGNINI, F. y 18 colaboradores. 1992. *Sistemas Agroforestales – Principios y aplicaciones en los trópicos. 2ª ed.* Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 622 p.

MURCIA, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in ecology & evolution*, 10(2), 58-62.

MURGUEITIO, E., Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C., & Uribe, F. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. Pp. 59-101 In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. & Eibl, B. (Eds.). *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico 402*, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.

MURGUEITIO, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261(10):1654-63.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3 (2): 97-128. 2010

NOSCUE, Erly Alexia. Adopción de los sistemas agroforestales con el cultivo del café (coffea arábica). Monografía para optar por el título de Ingeniero Forestal: Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente , La Plata – Huila, 2014.

OFICINA NACIONAL FORESTAL (2013). Guía Técnica SAF para la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) con árboles forestales maderables, Costa Rica.2013.

OSPINA MARULANDA, Alejandro. La industria de los cafés de especialidad. Relación entre certificaciones de calidad o especialidad, y los ingresos de los caficultores en Colombia. 1989 - 2015. Estudiante de Economía, Facultad de Economía, Universidad del Rosario, 2017.

PANHUYSEN S, Pierrot J (2018) Coffee Barometer 2018. Hivos. <https://www.hivos.org/assets/2018/06/Coffee-Barometer-2018.pdf>

PEARCY R, Muraoka. H, Valladares F. Crown architecture in sun and shade environments: assessing function and trade-offs with a threedimensional simulation model. *New Phytologist* 166: 791-800. 2005.

PERFECTO I, Rice R.A, Greenberg R, Van der Voort, M.E. 1996.Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience Reports* 46(8):598-608.

PONTE, S. (2003). Estándares, comercio y equidad: Lecciones de la industria de los cafés especiales. *Ensayos sobre Economía Cafetera*, 131-163.

PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas en el beneficio del café. In: CONGRESO de la Sociedad Colombiana de Entomología, 33. Manizales (Colombia), Julio 26 - 28, 2006. Memorias. Manizales (Colombia), SOCOLEN, 2003. p. 78-87.

RAMÍREZ, V.; Jaramillo, A. y Arcila, J. 2013. Factores climáticos que intervienen en la producción de café en Colombia. En: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FNC y Centro de Investigaciones en café - Cenicafé. 2013. Manual de cafetero Colombiano. Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Tomo 1. FNC – Cenicafé. Bogotá, Colombia.

RAMIREZ-VILLEGAS Julián, Salazar Mike.A, Jarvis Andy, Navarro-Racines Carlos E. Way Forward on Adaptation to Climate Change in Colombian Agriculture: Perspectives Towards 2050. 2021

RICE R. A, Ward J. R. E .1997. l café, la conservación ambiental y el comercio en el hemisferio occidental. Washington, Smithsonian Institution - SMBC. Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales - NRDC, 51 p.

RICKARDS LHS (2012) Transformational adaptation: agriculture and climate change. Crop Pasture Sci 63(3):240–250

SAMPER, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas centroamericanas. Pp. 1-68 En: Bertrand, B; Rapidel, B. (Eds.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José, Costa Rica, CIRAD-IICA. 496 p.

STAFFORD MHL, Harvey A, Hamilton C (2011) Rethinking adaptation for a 4 °C world 2010. Philos Trans R Soc 369(1934):196–216

TORQUEBIAU, E. 1993. Conceptos de agroforestería: una introducción. Chapingo, Universidad Autónoma Chapingo, 89 p

TORRES-OSORIO, P. A. (2019). Los cafés especiales en la ruta del crecimiento económico y el desarrollo social (Generación de contenidos impresos N.º 10). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi: <https://doi.org/10.16925/gclc.08>

UICN 2022. The UICN Red List of Threatened Species <https://www.iucnredlist.org/>

VALLADARES F, Aranda I, Gómez S D. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. In: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Madrid, Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC, 2005. p. 335 – 369.

VAN RIKXOORT H, Schroth G, Läderach P, Rodríguez-Sánchez B (2014) Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production. *Agron Sustain Dev* 34:887–897

VALLEJO, J. G. (2002). Sostenibilidad económica de las pequeñas explotaciones cafeteras Colombianas. *Ensayos sobre economía cafetera*, 73-89.

WARDLE DA, Bardgett RD, Callaway RM, Van der Putten WH (2011) Terrestrial ecosystem responses to species gains and losses. *Science* 332:1273–1277