

**ESPECIALIZACION EN PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE
LOS RECURSOS NATURALES**

TRABAJO DE GRADO

**TITULO DEL PROYECTO: ESTABLECIMIENTO DE LA INFLUENCIA DE LOS
SISTEMAS AGROFORESTALES COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA
PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arábica* L).**

PRESENTADO AL PROFESOR: Fernando Ortiz Cárdenas

PRESENTADO POR: Yineth Alexandra Andrade Prado

Código 2700656

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

BOGOTA D.C MAYO DE 2016

**ESTABLECIMIENTO DE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS
AGROFORESTALES COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE EN LA
PRODUCCIÓN DE CAFÉ (*Coffea arábica* L).**

**ESTABLISHMENT OF THE INFLUENCE OF AGROFORESTRY SYSTEMS AS A
SUSTAINABLE ALTERNATIVE IN COFFEE PRODUCTION(*Coffea arábica* L).**

Yineth Alexandra, Andrade Prado

Ing. Agrónoma.

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

yinethalexandraandradeprado@gmail.com

RESUMEN

El presente artículo establece la influencia de los sistemas agroforestales como alternativa sostenible en la producción de café, haciendo mención de sus ventajas, desventajas y la interacción de los componentes agua, suelo, biodiversidad, como también de los efectos sobre la productividad y calidad. Así mismo, se menciona que los cafetales con diferentes estratos de sombrero, logran adaptarse mejor a un escenario de cambio climático, además de ser un sistema productivo que ofrece bienes y servicios, permitiendo al mismo tiempo conservar, rehabilitar ecosistemas, favorecer en las propiedades organolépticas a los granos, ganando sabor, aroma y un mayor valor en el mercado internacional, con respecto a los cafés sin sombra. Por ello la Agroforestería en café, se convierte en una estrategia que permite la sostenibilidad y productividad de las fincas.

Palabras clave: Sistemas agroforestales, sostenible, calidad, sistemas de producción, café, sombra, influencia, cambio climático, adaptación.

ABSTRACT

This article states the influence of agroforestry as a sustainable alternative to coffee production, with mention of their advantages, disadvantages and interaction of the components water, soil, biodiversity, as well as the effects on productivity and quality. It also mentioned that coffee plantations with different strata of shade, achieve better adapt to a climate change scenario, in addition to being a productive system that provides goods and services, while allowing preserve, restore ecosystems, promote the organoleptic properties grains, winning flavor, aroma and a high value in the international market for coffee without shade. Therefore Agroforestry coffee, it becomes a strategy that allows the sustainability and productivity of farms.

Keywords: Agroforestry systems, sustainable, quality, production systems, coffee, shade, influence, climate change, adaptation.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento de la producción de café ha incrementado la utilización de químicos y la exposición de las plantas a sol directo para obtener mayores resultados de las variedades sembradas, intensificando los monocultivos que vienen a desplazar a los ecosistemas diversificados y transformar los paisajes nativos.

Los cultivos de exposición directa al sol conllevan a la deforestación y contaminación por pesticidas, presentando una reducción de la diversidad de especies debido al cambio en la estructura del paisaje, sitios de alimentación, reproducción, además de ser la principal causa de los cambios en la estructura vegetal, a diferencia de las plantaciones de café bajo sombra que generan un microclima propicio para mantener un hábitat adecuado.

La historia indica que entre 1730 y 1787 inicio la caficultura colombiana; los primeros cultivos crecieron en la zona oriental del país, establecidos bajo árboles de sombrío. El café tuvo una gran expansión entre finales de los años setenta del siglo XIX y comienzos del siglo XX, principalmente en los departamentos de Santander y Cundinamarca, bajo los mismos sistemas de cultivo. Actualmente, de las 920.000 hectáreas cultivadas con café, el 33,1% están con semisombra y el 16,8% bajo sombrío, es decir, la caficultura colombiana es una caficultura con una gran tradición agroforestal; sistemas de producción que han demandado un gran esfuerzo, inversión y dedicación por parte de sus cultivadores [13].

Según Guhl, en Colombia la producción de café es más viable en altitudes entre 1.200 y 1.800 msnm, correlacionado con un promedio de precipitaciones entre 2.500 y 1.500 mm/año respectivamente [26]. Forero Álvarez, menciona que *Coffea arábica* y *C. canéfora*, o “robusta,” son las dos variedades de café producidas comercialmente en el mundo. Colombia produce exclusivamente *C. arábica*, esto es significativo por tener un mayor potencial para contribuir a la conservación de la biodiversidad que la variedad *C. canéfora*, por su preferencia de crecimiento en altura y condiciones más húmedas, permitiendo mayores oportunidades para ambientes de sombra (22).

La mayor parte del café de Colombia se produce en pequeñas fincas, con un 95% de las plantaciones de café siendo menor a 5 hectáreas, con una predominancia de métodos tradicionales para producción de café bajo sombra. Alrededor del 50% de estos productores cultivan café en menos de una hectárea. Desde 1970, el número de fincas de café se ha duplicado, pasando de 300.000 a 609.432. Mientras tanto, la superficie total plantada de café disminuyó un 18,6%, aumentando la participación de las pequeñas explotaciones agrícolas del 31 a 61% [26].

En consecuencia, la tendencia de países productores en América del Sur, ha sido de incrementar el rendimiento mientras que el área de cultivo disminuye. Así

mismo, sucede en Colombia, aunque después del 2009, las condiciones climáticas han resultado en una disminución sustancial en la producción.

Como caso típico, la estrategia de protección del cultivo, dio inicio a la siembra del café en asocio con especies arbóreas, que posteriormente se denominaron sistemas tradicionales de explotación del café. Esta técnica se caracteriza por el uso de las variedades arábigo, típica y borbón, cultivadas y mantenidas bajo sombrío, de forma extensiva y con bajas densidades de siembra.

Estos sistemas de cultivo generalmente no utilizaban abonos químicos o lo hacían en muy bajas dosis, puesto que, sus prácticas culturales se limitaban principalmente a dos desyerbas anuales, podas esporádicas, fumigaciones para combatir algunas enfermedades como la mancha de hierro y la gotera [28].

Así mismo, el sombrío permanente debía estar conformado por distintos árboles para que no los atacaran las mismas plagas y no competir entre sí por el consumo de nutrientes; además, sembrarse intercaladamente para que no interfirieran en su alimentación y sus follajes tuvieran alturas diversas, con lo que se defienden mejor de las plagas. Los árboles más utilizados para el sombrío eran: *Inga edulis* (guamo santafereno); *Inga spuria* (guamo bejuco); *Inga ursipitlier* (guamo cacho de cabra); *Inga marginata* (guamo churimo de ribete); *Calliandra lehmanni* (carbonero morado); *Pseudoacacia spectabilis* (canofistulo macho, vainillo o vainillo); *Erythrina poeppigiana* (cambulo, ceiba, cachimbo, anaco, pisamo); *Erythrina coralodendro* [8].

Posteriormente, entre los años 1970 y 1990 el cultivo evolucionó hacia sistemas intensivos a plena exposición solar, con variedades de porte bajo [33]. La década de los años 90, se caracterizó por un incremento del cultivo de variedades de porte bajo con resistencia a la roya del café, como la variedad Colombia. Recientemente se ha liberado la variedad Tabi de porte alto y también resistente a la roya del café [37]. A partir del año 2005, se liberaron la Variedad Castillo y las Variedades Castillo regionales, para su cultivo en regiones específicas [3].



Figura 1. Cultivo de café con sombrío tradicional diverso
Fuente: Farfán, 2014 [13]

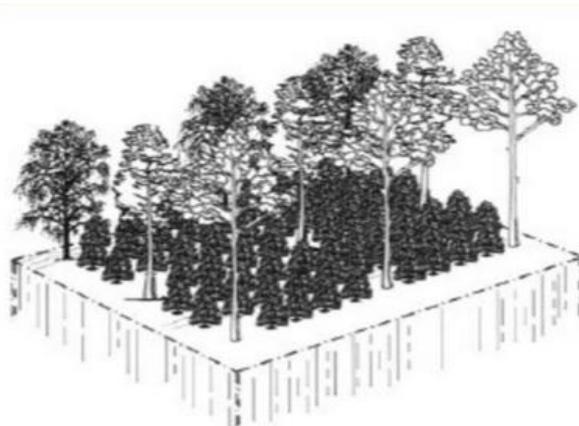


Figura 2. Cultivo de café con sombrío diverso tecnificado
Fuente: Farfán, 2014 [13].

El lote cafetero a plena exposición solar, es aquel en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea permanente, inferior a 20 árboles por hectárea y/o inferior de 300 especies arbustivas semipermanentes; el desemisombra, es aquel en el cual el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea superior a 20 e inferior a 50 árboles por hectárea y/o cualquier especie arbustiva semipermanente, con más de 300 y menos de 750 sitios por hectárea.

Por último, el de sombra, cuando el efecto de la regulación de la luz incidente se debe a la presencia de cualquier especie arbórea permanente con densidad superior a 50 árboles por hectárea, igual a una distancia de siembra aproximada de 14,0 m x 14,0 m y/o cualquier especie arbustiva semipermanente con más de 750 sitios por hectárea, es decir, distancias de siembra de 3,7 m x 3,7 m.

Tabla 1. La exposición del café a la luz, según el número de árboles de sombrío y de arbustos semiperennes por hectárea.

Exposición a la luz (según el número de árboles o semiperennes por hectárea)		
<20 árboles o <300 especies arbustivas	>20 y <50 árboles o >300 y <750 especies arbustivas	>50 árboles o >750 especies arbustivas
Café plena exposición solar	Café con semisombra	Café con sombra

Fuente: Farfán, 2014 [13].

Los Sistemas Agroforestales Cafeteros Colombianos (SAFC), son 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 [13].

De acuerdo con Farfán y Jaramillo los porcentajes de sombrío para el café según el número de horas de brillo solar al año, se resume así[15]:

Tabla 2. Porcentajes de sombrío para el café según número de horas brillo solar al año.

Porcentaje de sombrío (según el número de horas de brillo solar al año)			
0%	Menor de 25%	Entre 25% y 45%	Mayor de 45%
Libre exposición solar	Sombrío ralo o heterogéneo	Sombrío óptimo o adecuado	Sombrío denso u homogéneo

Fuente: Farfán y Jaramillo, 2009 [15].

De acuerdo con Federacafe, el cafetal debía mantenerse con buen sombrío, pero teniendo presente que un exceso de sombra podría favorecer el desarrollo de enfermedades, y el caficultor debía tener siempre la preocupación constante de cultivar árboles de sombrío permanente con el mismo cuidado que cultiva los cafetos[18].

Actualmente, del área cultivada con café en Colombia está por el orden de 927.815 hectáreas, de las cuales 857.018 Ha están establecidas con variedades de porte bajo y 70.797 Ha con variedades de porte alto; 308.990 Ha están con algún tipo de sombrío o sombrío ralo y 102.913 Ha bajo sombrío[21]. En los sistemas de cultivo bajo sombrío la densidad de siembra promedio es de 4.900 cafetos por hectárea y la edad promedio de los árboles es de 10 años[44].

De lo anterior, se puede inferir que en Colombia el café es un cultivo que se planta a plena exposición solar, pero es común observar plantaciones establecidas con varios tipos y cantidades de cobertura arbórea, existiendo una gran cultura agroforestal con café, dadas las diversas condiciones climáticas de suelo de nuestras zonas cafeteras.

Las condiciones ambientales específicas pueden determinar la necesidad o utilidad por mayores o menores niveles de sombra en el café. Para satisfacer las diferentes necesidades de sombra pueden utilizarse diferentes especies arbóreas con sus características específicas de competitividad o compatibilidad [38].

En el presente artículo se determina la influencia de los sistemas agroforestales (SAF), como alternativa sostenible en la producción de café (*Coffea arabica* L), por tal razón, se identifica la interacción entre el cultivo del café y los SAF, comparando la calidad y sostenibilidad del café con y sin presencia de sistemas agroforestales. Por último, se identifica la adopción de los sistemas agroforestales en café como alternativa de adaptación al cambio climático.

La metodología a desarrollar será mediante un diseño descriptivo de tipo exploratorio, mediante la revisión bibliográfica de artículos científicos, tesis y publicaciones de entidades encargadas de estudios del café especialmente Cenicafe, Federación Nacional de Cafeteros, CATIE, CIAT.

1. INTERACCIÓN ENTRE EL CULTIVO DEL CAFÉ (*Coffea arabica*) Y LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

La presencia de árboles provee a los sistemas agroforestales algunas características que favorecen la productividad y la sostenibilidad; entre las principales se encuentran: incremento de producción, aceptación, continuidad y resiliencia.

Referente al incremento de la producción, menciona que los sistemas agroforestales tienden a mantener o aumentar la productividad del suelo, haciendo uso de los productos obtenidos del mismo cultivo o de los árboles, disminuyendo la aplicación de insumos y la mano de obra.

En segundo lugar, se tiene la aceptación que implica el mejoramiento de las tecnologías agrosilvícolas, por la introducción de nuevas áreas a la Agroforestería, ajustadas a las prácticas agrícolas locales [40].

Por otra parte, la continuidad es otra de las características que la agroforestería, que puede alcanzar y mantener indefinidamente los objetivos de la conservación y la fertilidad del suelo; alcanzando el potencial de producción como base del recurso, en función de los efectos benéficos de los árboles sobre el suelo.

Por último, la Resiliencia, que se define como la capacidad de un ecosistema para volver a su estado original después de una perturbación, conservando 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, retener sus funciones, la estructura básica y su identidad [49]. El uso del suelo puede recuperarse de una condición de degradación a una de restauración o resiliencia.

Entre los atributos más deseables de un árbol para ser empleado como sombrío en café, están la familia de las leguminosas, que extraen y fijan nitrógeno (N) del aire y recirculan nutrientes [17]. Es importante elegir especies que permitan limitar su altura para reducir el impacto de las gotas de agua contra el suelo; de igual manera, que no se desarrollen en el mismo espacio de las raíces del café [17]; buscando que produzcan abundante biomasa, tendientes a aumentar la materia orgánica por la descomposición de hojas y ramas de los árboles al caer al suelo [7].

Como también, árboles que permitan su establecimiento con otras especies, sombríos mixtos o estratificados; árboles con resistencia o baja susceptibilidad a plagas y enfermedades; especies que no compitan por nutrientes o por los mismos y en las mismas cantidades que el café, es decir, que tengan diferentes exigencias [19], plantas arbóreas que tengan follaje a diferentes alturas, previniendo así, el ataque de plagas y enfermedades. Las especies de sombrío que se establezcan deben dejar pasar buena cantidad de luz, es decir, que su sombra sea rala [19]; árboles que en lo posible cumplan una función económica.

1.1. INTERACCIONES POSITIVAS

Existe gran controversia acerca de los efectos presumiblemente positivos de los árboles sobre la producción y desarrollo del café. Se encuentran muchos ejemplos de resultados experimentales los que indican que presentan incrementos, reducciones o ninguna variación en el rendimiento y producción de las plantaciones de café, en función del grado de sombra, arborización o sombrero [4].

El tipo de interacción entre componentes y los sistemas agroforestales, pueden manifestarse de manera positiva, cuando existe complementariedad entre ellos; lo relacionado a los Aspectos climáticos, permite el mejoramiento de las condiciones microclimáticas, especialmente por la disminución de los eventos extremos de la temperatura del aire y del suelo, atenuación de la velocidad del viento, mantenimiento de la humedad relativa y mejoramiento de la regulación hídrica en el suelo. Como consecuencia, los cafetales arborizados están mejor protegidos contra las heladas y se crea un ambiente más adecuado para el intercambio gaseoso.

En cuanto a los Aspectos edáficos, contribuye al mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad debido al aumento en la capacidad de reciclaje de nutrientes y adición de residuos. La estabilidad de la temperatura del suelo converge con menores pérdidas por volatilización del nitrógeno. Además, la capacidad de absorción e infiltración del agua se incrementa, lo cual favorece la reducción de la erosión. Sin embargo, de modo general la utilización y la respuesta a la aplicación de nutrientes en cafetales sombreados es menor que en aquellos que crecen a pleno sol [13].

Damatta y Rodriguez, citan entre las principales interacciones positivas en cafetales arborizados, Aspectos bióticos que favorece la reducción de la incidencia de *Cercosporacoffeicola*, del minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) y de arvenses, especialmente gramíneas, así mismo los sistemas agroforestales contribuyen a la provisión de hábitat para mayor biodiversidad, sirviendo como refugio de aves migratorias, fauna y flora [10].

Así mismo, estos autores mencionan aspectos endógenos que ayudan en la atenuación del ciclo bienal de la producción de café, disminuyendo el estímulo a la superproducción que, a su vez, reduce el agotamiento de la planta y el secamiento de las yemas apicales y, en última instancia, hace el cultivo más perdurable. Además, el tamaño de los frutos producidos es mayor, si bien el incremento en la calidad de la bebida es asunto de controversia. Así mismo, hay un alargamiento del periodo de maduración del fruto que permite mayor flexibilidad en la cosecha.

Por último, señalan los aspectos económicos como ganancias adicionales derivadas de la explotación de la especie usada para la arborización, ya sea madera, frutos, látex, leña, forraje, productos aromáticos y medicinales; igualmente dan la oportunidad para participar en mercados de cafés especiales como los amigables con las aves, de conservación y orgánicos.

1.2. INTERACCIONES NEGATIVAS

Las interacciones negativas de la arborización están íntimamente asociadas con el uso de especies inadecuadas, que compiten significativamente con el cafeto, con el sombrío excesivo y las dificultades en las operaciones de la cosecha. Se pueden destacar como principales desventajas [10]:

En regiones con periodos de sequías prolongadas, con suelos pobres tanto en su estructura como en contenido de nutrientes, o cuando se usan especies cuyo sistema radicular sea demasiado superficial, puede ocurrir competencia severa entre el cafeto y el árbol de sombrío. Entre tanto, regiones con suelos profundos y poca capacidad de retención hídrica para la caficultura, el uso de árboles con sistemas radiculares profundos compite poco con el café.

Dependiendo de las especies usadas, la poda puede ser frecuente, dado que la densidad puede tornarse excesiva. Esas operaciones son dispendiosas, pero de fácil ejecución; además, las ramas caídas pueden causar daños mecánicos al cafeto. Cabe anotar que al establecer sombrío muy denso, se contribuye a la incidencia de la broca y de la roya del cafeto.

El potencial de producción se ve muchas veces limitado bajo condiciones de arborización y la respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados es limitada; especialmente en épocas de precios altos, ello puede tener un impacto considerable en la rentabilidad para el agricultor.

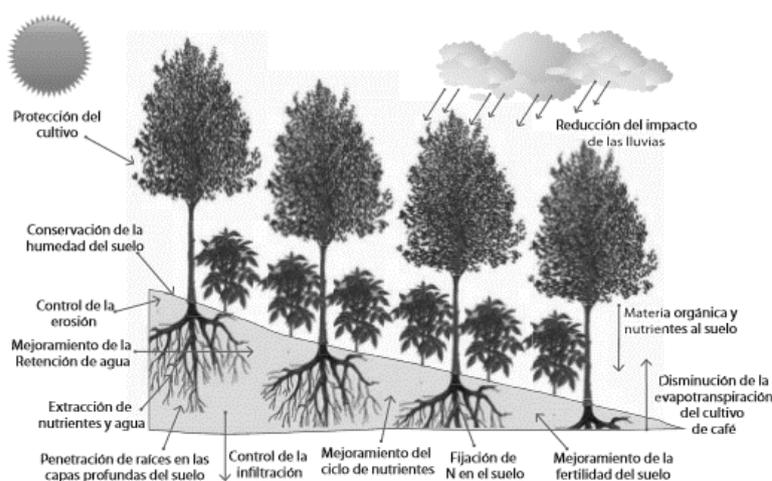


Figura 3. Procesos ecológicos que interactúan en un SAF cafetero
Fuente: Farfán, 2014 [13].

1.3. INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES, CON RESPECTO AL SUELO, AGUA Y BIODIVERSIDAD.

Entre los puntos más críticos del efecto de los sistemas agroforestales sobre el cultivo, están el balance hídrico, la diversidad biológica y las características químico-nutritivas del suelo, cuyas interacciones están íntimamente relacionadas con la productividad y calidad del cafeto.

1.3.1 Influencia de los SAF – Suelo – Café

La mejora del suelo en los SAF, está vinculada al crecimiento de árboles que fijen el nitrógeno y de raíces profundas que aumenten la disponibilidad de éste por medio de la fijación biológica, el reciclado de nutrientes de la planta desde la profundidad, especialmente en zonas secas y la formación de materia orgánica para el suelo.

Diversos estudios confirman las bondades de especies leguminosas para ser empleadas como sombrío de café, pero muy poco se ha estudiado sobre las interacciones biofísicas de sistemas agroforestales, los cuales involucran especies como pinos y eucaliptos en el componente arbóreo, que alcanzando tener potencial biológico y económico para ser empleadas con los mismos propósitos. Son muchas las especulaciones sobre los efectos que estas especies tendrían sobre los suelos y los cultivos; en este sentido, autores como Chang, Amatya, et al; afirman que estas utilizan toda el agua del suelo, acidifican y esterilizan el suelo, reducen la biodiversidad y son inhóspitas para la fauna, afectando además el clima [9].

La función del árbol en el mantenimiento de la fertilidad, destaca la fijación biológica de nitrógeno, reciclaje de nutrientes desde las capas más profundas, formación de materia orgánica para el suelo, con la implementación de SAF con especies fijadoras. En cuanto al control de la erosión mediante la implementación de barreras vivas en terrenos con pendiente pronunciada, el sombrío permite la protección del suelo con la capa de hojarasca, reduciendo el impacto erosivo de las gotas de lluvia al caer, efecto de la copa y del fuste en la reducción de la velocidad de caída de las gotas de agua.

El componente arbóreo en un sistema agroforestal busca optimizar el uso de recursos y aumentar la productividad por unidad de terreno, además de ser una fuente energética, de madera, frutos o sombrío, puede regular las condiciones de luz para el cultivo principal y suplir parte de los nutrientes requeridos por él; además, con una densidad suficiente de árboles se logra reducir los vientos fuertes, lo que contribuye a la protección del suelo y del café [53].

Los árboles también aportan gran cantidad de residuos vegetales que actúan como material de cobertura [30]; la capa de hojarasca es el eslabón que mantiene unidos los componentes arbóreos con el suelo, que, a su vez, por procesos de descomposición y mineralización, liberará nutrientes que podrán ser nuevamente absorbidos por las plantas [48].

El retorno anual de la materia orgánica y bioelementos al suelo, a través de la hojarasca, es uno de los condicionantes más importantes de la renovación en el seno del ecosistema agroforestal. El posible papel de las especies arbóreas sobre la circulación de nutrientes en su ecosistema depende de la cantidad de material reciclable y de su tasa de descomposición. Por ello, es importante la identificación de las especies con influencia positiva sobre la restauración de la fertilidad del suelo, para utilizarlas en el diseño de plantaciones arbóreas mixtas y sistemas agroforestales [31,35, 53].

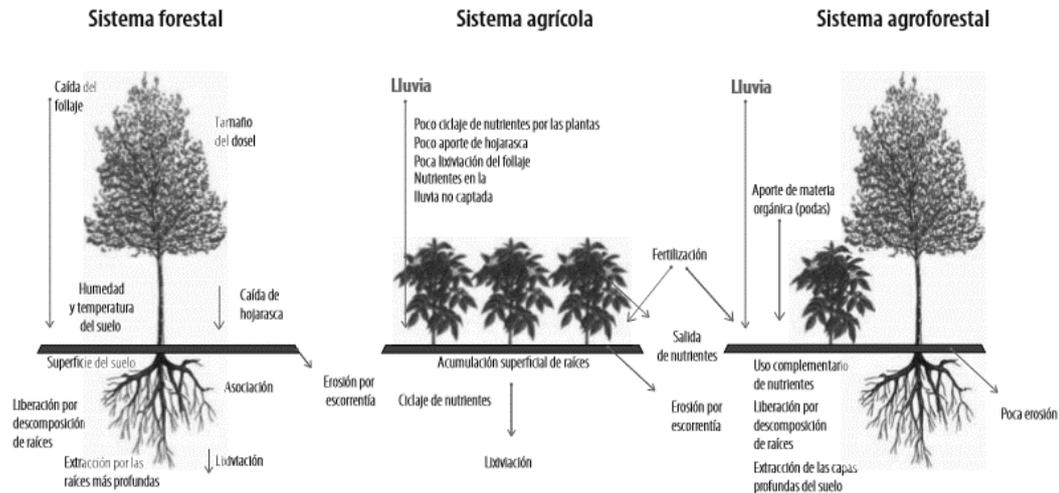


Figura 4. Representación esquemática de las relaciones de nutrientes entre sistemas forestales, agrícolas y agroforestales.
Fuente: Farfán, 2014 [13].

De acuerdo con Alvarado, el ingreso de nutrimentos al ecosistema está más ligado a su ciclaje que a la forma en que funciona la adición de residuos provenientes del ecosistema, sin que se encuentren diferencias entre lo que ocurre en las plantaciones. Se entiende por residuos los productos orgánicos acumulados en los suelos provenientes de la vegetación viva que crece sobre ellos, como hojas, ramas, flores y madera, aunque el concepto puede ampliarse para incluir raíces en descomposición y los residuos de animales muertos sobre el suelo [2].

Entre las principales funciones que tienen los residuos en el ecosistema, son las funciones de mineralización, es decir la liberación de nutrimentos ligados a los residuos y de la humificación el cual es el proceso que conlleva a la formación de sustancias orgánicas que se acumulan en el suelo, de allí en adelante los efectos específicos que cada una de estas dos fracciones juega sobre las propiedades del suelo [2].

Aunque, el clima modifica notablemente la rapidez de la descomposición de los residuos vegetales en la superficie del suelo, ejerciendo influencia sobre el tipo, como en la abundancia de la materia orgánica. La humedad y la temperatura se encuentran entre las variables más determinantes, porque influyen en el desarrollo de la vegetación, por la actividad de los microorganismos.

En su gran mayoría las producciones de café se encuentran en zonas de ladera por lo tanto el manejo y la conservación de suelos debe ser lo más eficiente posible. Una de las prácticas más comunes para ello es la siembra de árboles de sombrío, que producen abundante hojarasca, protegiendo al suelo del impacto de la lluvia y favorece la entrada del agua a través del perfil, disminuyendo la escorrentía y por ende la erosión [24].

1.3.2. Influencia SAF – Agua – Café

Aunque el potencial de los SAF para ayudar a asegurar el aprovisionamiento de agua en cantidad y calidad, es la función de servicio menos estudiada, si se conoce que los árboles ejercen su influencia sobre el ciclo del agua a través de la transpiración y retención del agua en el suelo, la reducción del escurrimiento y el aumento de la filtración.

Además, los árboles en los SAF pueden reciclar los nutrientes de un modo conservador evitando su pérdida por medio de la filtración del nutriente. Por ello, los SAF pueden reducir la contaminación del agua de suelo por los nitratos y otras sustancias perjudiciales al medio y a la salud humana. Como resultado del menor escurrimiento y filtración las micro cuencas hidrográficas con cubierta forestal o SAF que cubren un alto porcentaje de la superficie del suelo producen agua de alta calidad (47).

La sombra claramente reduce la evaporación del suelo, debido a la intercepción de luz solar y presencia de un mantillo que protege el suelo, producido por los árboles, que a su vez permite incrementar la infiltración del agua de lluvia y reducir la escorrentía [25].

De acuerdo con Cassol, la cobertura vegetal producida por los árboles de sombra y el mulch aplicado, pueden tener un efecto benéfico en la conservación de la humedad en el suelo, puesto que, indirectamente disminuyen la acción del viento y la temperatura de la capa superficial, lo que da como resultado una menor evaporación, además del aporte de materia orgánica [6].

No obstante, en comunidades arbóreas el número de especies y la cantidad de biomasa producida por las plantas es un determinante importante de las características del ecosistema, y estos dos factores dependen en alto grado de la cantidad y la distribución espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas [5]

Para minimizar los efectos que los periodos secos prolongados causan al cultivo del café, una de las alternativas es establecer el cultivo bajo árboles de sombra, con el propósito de conservar la humedad del suelo; el sistema de raíces en particular, junto con la cobertura dada por el árbol pueden tener efectos indirectos sobre el suelo, como es la disponibilidad de agua para el cultivo principal [39].

Vidhana y Liyanage, sostienen que las pérdidas de agua en la superficie del suelo de 0 a 20 cm de profundidad, en los cultivos intercalados, son menores que las registradas en suelo desnudo. Además, estos autores afirman que las especies leguminosas extraen agua principalmente entre los 20 y 100 cm, con mayor disponibilidad en los suelos de cultivos con especies arbóreas, que en los monocultivos [51].

1.3.3. Influencia SAF – Biodiversidad – Café

Los SAF pueden desempeñar una función importante en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes deforestados, como en los

fragmentados, suministrando hábitat, recursos para las especies y diversidad de polinizadores; manteniendo la conexión del paisaje, de tal modo, facilita el movimiento de animales, semillas y polen, creando las condiciones de vida del paisaje menos difíciles para los habitantes del bosque, reduciendo la frecuencia e intensidad de los incendios, disminuyendo potencialmente los efectos, aportando zonas de amortiguamiento a las zonas protegidas.

Los doseles de bosque que han permanecido intactos a través de las prácticas tradicionales de producción de café bajo sombra albergan un gran número de especies de aves migratorias. Además de las aves, muchas otras especies de animales son igualmente afectadas negativamente por las cantidades crecientes de agroquímicos utilizados en las plantaciones de café bajo sol, así como por las fluctuaciones dramáticas de temperatura y humedad.

Del mismo modo, la diversidad de artrópodos polinizadores como las abejas ha sido correlacionada con un aumento en los rendimientos, peso de grano, y calidad del café. En menor medida, la diversidad de anfibios y reptiles es igualmente mayor en las parcelas de café de sombra que en cafetales al sol, probablemente debido a la sensibilidad de estos grupos de animales a los pesticidas y herbicidas.

Los SAF no pueden proveer los mismos nichos y hábitats de los bosques originales y jamás deberían ser promovidos como una herramienta de conservación a expensas de la conservación natural del bosque. Sin embargo, sí ofrecen una importante herramienta complementaria para la conservación del paisaje que protege a los fragmentos forestales restantes y promueve el mantenimiento de la cubierta arbórea en las explotaciones agrícolas.

Por otro lado, el grado en el cual los SAF pueden servir a los esfuerzos de conservación, depende de una variedad de factores, incluyendo el diseño y origen de los SAF, particularmente su diversidad florística, estructural, su permanencia en el paisaje, ubicación relativa al hábitat natural restante, el grado de conexión dentro del hábitat, así como también su ordenación y uso.

En realidad, cuanto más diverso es el SAF, más baja es su intensidad de ordenación y más cercano se encuentra al hábitat intacto y mayor su habilidad para conservar las especies nativas de plantas y animales. Ciertos SAF que imitan estrechamente los ecosistemas naturales, provee una variedad de nichos y recursos que toleran una alta diversidad de plantas y animales, aunque usualmente menos que la de un bosque intacto [42]. Sin embargo, aun los SAF con bajas densidades de árboles y baja diversidad de especies pueden ayudar a mantener la conexión biótica.

2. ADOPCIÓN DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN CAFÉ COMO ALTERNATIVA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación, ya que los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura, se verán afectados e impactarán sobre la producción agrícola. Estos impactos ya se sienten en algunos países, donde también se espera un

aumento en las precipitaciones que producirán daños en los cultivos por erosión de los suelos o en algunos casos por inundaciones. En estas zonas se espera una mayor frecuencia y severidad de sequías y calor excesivo, condiciones que pueden limitar significativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos [1].

Los agricultores siembran sus cultivos en arreglos agroforestales, utilizando la cobertura de los árboles para proteger los cultivos contra fluctuaciones extremas en microclima y humedad del suelo. La presencia de árboles en las parcelas constituye una estrategia clave para la mitigación de los efectos impredecibles debido a las variaciones microclimáticas.

2.1. SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES EN CAFÉ

El cambio climático afecta la incidencia de plagas y enfermedades, el ciclaje, disponibilidad de nutrientes del suelo y aumenta la propensión a incendios; en los SAF de café las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar disminuyen al aumentar la densidad de la sombra, indicando que protegen a las plantas de café de la variabilidad del clima, brindando protección contra radiación solar excesiva, vientos fuertes y lluvias torrenciales, lo que permite preservar contra las consecuencias de los cambios sobre el cultivo asociado y sobre el ecosistema.

2.1.1. Bienes y servicios

Varios beneficios ecológicos han sido evaluados al comparar la producción menos intensiva de café bajo sombra con plantaciones de pleno sol. La cantidad más alta de especies de árboles localizados en las parcelas de café con sombra resultan en una mayor protección de las cuencas y la prevención de la escorrentía superficial del suelo, a través de una mayor infiltración y reducción de ésta, que podría contaminar las fuentes de agua. Otros servicios ecológicos incluyen una mayor tasa de fijación de carbono y la conservación de la calidad del agua, la fertilidad del suelo y biodiversidad en paisajes fragmentados [50].

La selección de las especies de sombra puede tener un efecto beneficioso sobre la ecología de la finca de café en general; en los policultivos de cafetos, las especies de sombra son seleccionadas por su capacidad de fijar nitrógeno, mejorar la calidad del suelo, la producción de fruta y por su uso como árboles maderables en tiempos de necesidad económica. Los árboles más utilizados en Colombia incluyen *Inga spp.*, *Erythrina spp.*, *Cordia alliodora*, cítricos, plátano, e higo. Los ingresos y beneficios adicionales de estos árboles tienen la capacidad de compensar pérdidas de rendimiento o caídas de precios en comparación con plantaciones de sol que no aportan esta oportunidad.

El uso de sombra también aumenta la longevidad de las plantaciones de café, al reducir la necesidad de operaciones de restauración frecuentes y el uso de insumos agroquímicos con un costo alto al productor [45].

2.1.2. Captura de carbono (C)

Dejong et al, Davidson, mencionan que los sistemas agroforestales de café han sido reconocidos recientemente como estrategias viables para la captura y acumulación de carbono. Las estimaciones del potencial de almacenamiento de carbono en las plantaciones de café tradicionales bajo sombra van desde 46,7 hasta 236,7 toneladas de carbono por hectárea tonC/ha [11,12], constituyéndose en el principal organismo vivo de importancia estratégica en la mitigación de los efectos de gases invernadero. Si bien, las plantas de café no son actualmente importantes sumideros de carbono, sí tienen potencial como capturadores del carbono de la atmósfera.

Los policultivos de café almacenan grandes cantidades de carbono en la biomasa por encima del suelo y bajo el suelo. Incluso en plantaciones más intensivas con sólo especies de sombra de Inga, los beneficios de la captura de carbono son altos [46].

2.2. LA SOMBRA DE ÁRBOLES EN SAF COMO ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los SAF cumplen un papel importante en la mitigación del Cambio Climático al disminuir la presión sobre los bosques, los cuales son el mayor reservorio y contribuyen a la toma de C en el componente arbóreo, en cultivos y en suelos.

El manejo de la finca ha tomado cada vez más importancia para la producción de café de calidad, en respuesta al aumento de temperaturas debido al cambio climático en las regiones productoras de Colombia. Durante la última década, la temperatura ha aumentado en promedio 0,5°C y, en algunas regiones, hasta 1°C. Las condiciones más cálidas combinadas con temporadas más húmedas han tenido efectos dramáticos sobre las plantas de *C. arábica* más vulnerables al cambio climático y predominantes en la producción de Colombia. Los arbustos de café están adaptados a condiciones climáticas muy específicas, por lo que con un leve aumento en los niveles de temperatura o humedad se vuelven más susceptibles a enfermedades como la roya (*Hemileavastatrix*) [43].

En los SAF de café con sombra, las fluctuaciones de temperatura, humedad y radiación solar se reducen considerablemente a medida que aumenta la densidad de la sombra, lo que permite acercarse a las condiciones ideales de crecimiento, siendo para el café arábigo de 18 a 21°C. La reducción de las fluctuaciones en la temperatura ayudará a que el café permanezca en un rango óptimo. La disminución de la humedad durante el día también es de utilidad, generando menor pérdida de agua por evapotranspiración del sistema.

Los sistemas agrícolas diversificados como sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y policultivos, constituyen ejemplos de cómo los agroecosistemas complejos son capaces de adaptarse y resistir los efectos del cambio climático. Los sistemas agroforestales tienen

una alta complejidad estructural, que han demostrado servir como amortiguador frente a grandes fluctuaciones de temperatura, manteniendo así el cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas [29, 36].

La agroforestería mejora la resiliencia de la producción agrícola a la variabilidad climática actual y los impactos del cambio climático a largo plazo gracias a los árboles, que intensifican, diversifican y amortiguan los sistemas agropecuarios. Por ejemplo, los árboles mejoran la calidad y la fertilidad del suelo, al retener el agua y reducir el estrés hídrico durante periodos de bajas precipitaciones; de igual manera, contribuye a reducir los impactos del clima extremo como sequías y lluvias torrenciales.

Herzog, afirma que la presencia de árboles de servicio le confiere una mayor resiliencia ecológica, actuando como “buffer” de los cambios en el ambiente; la última crisis de la roya tiende a demostrar mayor resiliencia ecológica y económica de los cafetales bajo sombra, con una menor dependencia a las variaciones de los precios, tanto de café como de insumos[27].

3. CALIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL CAFÉ (*Coffea arábica*).

Una razón para el mantenimiento de especies de árboles asociadas al cultivo del café es la incidencia sobre las características físicas y organolépticas, así mismo, sobre las características del suelo, agua, el mantenimiento de la biodiversidad, el ingreso generado por sus frutos o madera; cuyos productos pueden complementar el ingreso de los agricultores cuando los precios del café son bajos, siendo creciente la concientización sobre los costos ambientales asociados con los monocultivos de altos insumos y un interés renovado por el uso de árboles en las áreas que habían sido eliminados previamente.

3.1. PRODUCTIVIDAD, CALIDAD Y SOSTENIBILIDAD DEL CAFÉ CON SISTEMAS AGROFORESTALES.

Cuando el café se cultiva en altitudes más bajas, la protección brindada por la sombra de los árboles puede compensar las condiciones no óptimas de temperaturas altas y condiciones de humedad más elevadas, prevalentes en esas zonas. La sombra provee un período de maduración más largo, y reduce el estrés térmico en la planta, lo que resulta en granos más grandes y saludables. Se ha demostrado que la sombra, en combinación con los parámetros de altitud óptimos, aumenta la calidad del sabor del grano de café [11].

Como lo menciona Damatta y Rodríguez, bajo condiciones ambientales óptimas y utilización intensiva de insumos, plantaciones a pleno sol frecuentemente presentan mayor rendimiento y productividad cuando son comparadas con plantaciones bajo sombra. Tres factores pueden ser considerados, al menos teóricamente, para explicar que la producción se reduzca en la medida en que se incrementa el número de árboles o el sombrero en las plantaciones de café, las cuales son, menor asimilación de carbono por la planta entera bajo condiciones

de sombra excesiva, mayor estímulo de la emisión de yemas vegetativas, como también reducción de la formación de yemas florales y reducción del número de nudos producidos en las ramas [10].

La fronda o copa de los árboles de sombra afectan negativamente la cantidad y la calidad de luz disponible para los cultivos. Para café, el límite de sombra aceptable está entre el 40 y el 70%. En algunos casos se observa que, con bajas densidades de siembra de los árboles en los primeros años de desarrollo de los mismos, la selección de una especie inadecuada para el sitio de establecimiento del sombra del café, un manejo excesivo de los árboles y ataques de plagas en determinadas épocas del año, pueden obtenerse niveles de sombra deficientes o muy bajos para el desarrollo del cultivo (sombra del 10% al 20%).

Igualmente, con densidades altas de siembra de los árboles, mal manejo, la no realización de podas de mantenimiento, ni podas de formación e inadecuada distribución de los árboles en el campo, en corto tiempo se presentarán niveles de sombra excesivos >50%, que se convertiría en limitantes para la producción del café [13].

3.1.1. Valor agregado al SAF con café, producción de cafés especiales

En la producción y consumo de productos ecológicos, orgánicos, conservacionistas, entre otros, han ocurrido cambios importantes a nivel mundial en los últimos años. Esta tendencia se debe a una fuerte preocupación por la salud, a las nuevas exigencias en los gustos de los consumidores y a una mayor conciencia por la protección del ambiente; por ello, estos sistemas de producción que se caracterizan por la conservación de los recursos naturales, han tenido gran auge, con tasas de crecimiento anual hasta del 20% [23], especialmente en Europa, América del Norte y Japón [52].

Con el propósito de incrementar el posicionamiento del café colombiano en altos segmentos que agreguen valor a los productores, desde 1996, la Federación de Cafeteros (FNC), lidera el Programa de Cafés Especiales de Colombia, con el objetivo de identificar y seleccionar cafés de características excepcionales, provenientes de regiones específicas, integrando conceptos de conservación del medio ambiente, equidad económica y responsabilidad social. Dentro de los grupos de cafés especiales se encuentran los cafés sostenibles, dentro de éstos se incluyen los que deben cultivarse bajo estricta sombra, como los amigables de las aves, los de conservación y los aliados de los bosques [14].

Según la FNC, la comercialización sostenible y con valor agregado, establece objetivos estratégicos, como transferir el mejor precio posible al productor a través de la garantía de compra, en el contexto del mercado internacional, continuar el ascenso en la cadena de valor, ofrecer a clientes como a los consumidores un portafolio innovador que se adapte a sus necesidades, consolidar nuevos mercados y fomentar el consumo de café en el mercado interno [20].

3.1.2. Los sistemas agroforestales con café y certificados ambientales

En términos agronómicos, la instalación del café bajo sombra tiende a crear sistemas agroforestales, pero las últimas tendencias apuntan hacia una mayor

diversificación de las sombras con especies maderables nativas, en gran parte incentivada por los procesos de certificación.

Para la Federación Nacional de Cafeteros, los cafés especiales son aquellos valorados por los consumidores por sus atributos consistentes, verificables y sostenibles, por los cuales están dispuestos a pagar precios superiores, que redunden en un mejor ingreso y un mayor bienestar de los productores. En esta definición claramente destaca que los cafés especiales deben tener atributos que los diferencien, pero que, para considerarlo especial, el productor debe ser retribuido por su esfuerzo. Las categorías que clasifican los cafés especiales son Cafés de Origen, de Preparación y Sostenibles.

Los Cafés Sostenibles, son los cultivados por comunidades que tienen un serio compromiso con la protección del medio ambiente, a través de la producción limpia y la conservación de la biodiversidad de sus zonas; también promueven el desarrollo social de las familias cafeteras que los producen. Los clientes los prefieren porque cuidan la naturaleza y promueven el mercado justo con los países en vía de desarrollo. Dentro de estos se encuentran los cafés Utz Certified, Fair Trade, Familias Guardabosques, 4C, Relationship Coffees, los Cafés orgánicos, Rainforest Alliance [13].

Entre otros cafés especiales, adicionales a los orgánicos y Rainforest Alliance, que se cultivan bajo sombra están los Amigables de las Aves y los de Conservación, que también contribuyen a incrementar las poblaciones de epifitas y aumentar la diversidad de las especies de aves. Sin embargo, el cultivo bajo sombra es una iniciativa relativamente reciente de certificación de café o muchos de ellos exigen una certificación en Café Especial.

Los procesos de certificación de café tienen como objetivo asegurar al consumidor que el producto ha sido cultivado, beneficiado y tostado bajo exigentes normas de calidad, que incluyen prácticas culturales limpias en todas sus etapas y las personas que intervienen deben seguir unas normas de sanidad, calidad, cuidado ambiental, cambiando la forma en que maneja los residuos del beneficio, mitigando el daño ambiental, al agua y suelo.

Los criterios relativos solo al componente arbóreo en el cultivo del café se resumen para café "Amigable con las aves", "Aliado de los bosques" y "Conservación". C.A.F.E. Practices - Starbucks Coffee Company. Posee criterios de evaluación ambiental y que hacen alusión a la producción de café bajo cubierta arbolada.

Otras verificaciones como Nespresso AAA, conduce criterios similares a Rainforest Alliance. El criterio de sombra ha dejado de ser crítico. UTZ Certified, en el que el productor usa árboles de sombra si es compatible con las prácticas locales de producción de café y toma en cuenta la productividad. Fairtrade Labelling Organization Internacional (FLO), que investiga e implementa proyectos de diversificación agrícola dentro de las fincas de sus miembros, incluyendo reforestación y establecimiento de cubierta de sombra.

Es notorio que, cada vez más, los consumidores esperan tomar una bebida con características especiales y se preocupan por la procedencia y las condiciones de beneficio del café, así como del entorno agronómico, social, comercial y ambiental del cultivo, el auge por los cafés de alta calidad se ha incrementado en los últimos

años y se espera que el crecimiento en el país sea del 1,3% anual, pasando del 20,0% en 2010 a un 28,0% en 2020.

3.2. CAFÉ SIN SISTEMAS AGROFORESTALES

Mientras el aumento de nivel de sombra generalmente resulta en un rendimiento menor, comparado con el café expuesto al sol, la cobertura de sombra ha demostrado tener efectos físicos, tanto positivos como negativos, sobre la calidad del grano de café. Un factor importante a considerar en términos de rendimiento es el mayor costo de los insumos agroquímicos asociados con las plantaciones a pleno sol, lo cual puede ser compensado por el aumento de los ingresos debido a los mayores rendimientos. Plantaciones manejadas más intensivamente bajo pleno sol también requieren un mayor nivel de mano de obra, exigiendo a los agricultores renunciar a otras actividades económicas o contratar a trabajadores agrícolas [41].

La implementación de nuevas políticas orientadas hacia el aumento del rendimiento ha llevado a un cambio significativo en el uso de la tierra en las regiones cafeteras de Colombia. Muchas granjas pequeñas y grandes han sido transformadas en plantaciones de pleno sol, bajo la dirección de la FNC, siendo Colombia el país que presenta una de las tasas más altas de transformación de sistemas de cultivo de café bajo sombra a sistemas a pleno sol en América Latina. Entre 1990 y 1997 la superficie total plantada de café disminuyó en un 18,5%, mientras que la producción se duplicó [26].

El alto rendimiento representa la pérdida de las plantaciones de café de sombra, transformadas a parcelas de café a pleno sol o utilizadas para otras actividades agrícolas. Con el cambio en las prácticas de manejo y la eliminación de los árboles de sombra, cantidades significativas de hábitat y de servicios ecosistémicos se han perdido también.

4. CONCLUSIONES

La transformación desde la producción bajo sombra a cafetales de sol, se ha incrementado, dando lugar a una pérdida significativa de hábitat para la biodiversidad en la región, causado efectos perjudiciales sobre la ecología, poniendo en peligro la sostenibilidad a largo plazo de las fincas cafetaleras, por ello la Agroforestería en café, se convierte en una alternativa como un sistema productivo, tanto de madera y de alimentos, que permite al mismo tiempo conservar y rehabilitar ecosistemas.

La producción y el comercio del café de calidad en Colombia, tiene consecuencias beneficiosas para la biodiversidad, la ecología de las fincas, y el bienestar del productor, puesto que se ha empezado a abordar aspectos ambientales de mayor escala en la producción cafetera.

Mientras que la tendencia en los últimos años se ha enfocado en incrementar los rendimientos y los ingresos, el aumento de los consumidores y de los mercados diferenciados ambientalmente conscientes, abre la posibilidad de un valor añadido a las prácticas sostenibles, lo cual representa un potencial para el café colombiano; además podría dar cabida a una política nacional que oriente e incentive métodos eficientes y sostenibles de la producción agrícola a gran escala de un producto global.

Las funciones de servicio provistas por los SAF, como conservación del suelo, retención del carbono, calidad del agua y conservación de la diversidad biológica están ganando la atención de agricultores, investigadores y entidades, sin embargo, aún se requieren mayores investigaciones sobre las potencialidades y mecanismos financieros para recompensar a los agricultores por todos los productos y servicios que pueden proveer el uso de los SAF.

Los cafetales con diferentes estratos de sombra, logran adaptarse mejor a un escenario de cambio climático, reducen el impacto de las lluvias y conservan adecuadamente la humedad en el suelo. Por otro lado, las propiedades organolépticas de los granos de café son distintas cuando son producidos bajo los sistemas agroforestales, ganando en sabor y aroma, añadido que es muy valorado en el mercado internacional, mediante incentivos por calidad.

La Agroforestería es una tradición y estrategia productiva de conservación de la naturaleza, como respuesta del agricultor a su entorno, aprovechando la fertilidad natural de los suelos y los servicios ambientales que brinda el bosque, permitiendo fortalecer la identidad cultural, diversificación del paisaje e interacciones ecológicas existente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Altieri, M. y Nicholls, C. (2009). Cambio climático y agricultura campesina: Impactos y respuestas adaptativas. Leisa. Pp 24.
- [2] Alvarado, A. (2008). Producción de madera con bajos insumos: Reciclaje de nutrientes en plantaciones y bosques tropicales. Universidad de Costa Rica. San José de Costa Rica.
- [3] Alvarado, A. Posada, S.; [et al.]. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya: CENICAFÉ. Avances Técnicos No. 3378 pp. Chinchiná
- [4] Beer, J. Muschler, R.; [et al.]. (1998). Shademanagement in coffee and cacao plantations. Agroforestry Systems. Pp 164.
- [5] Breshears, D. Barnes, F. (1999). Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: A unified conceptual model. Landscape Ecology. pp 478.
- [6] Cassol, E. Barros, C. Reichert, J. Mondardo, A. (2004). Escoamento superficial e desagregação do solo em terra sulco em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. Pesquisa Agropecuária Brasileira. pp 690.
- [7] CATIE. (1986). Sistemas agroforestales, principios y aplicaciones. San José de Costa Rica: CATIE: OTS. 125 p.
- [8] Chalarca, J. Hernández, S. (1974). El café. Bogotá: Canal Ramírez Antares, 400 pp.
- [9] Chang, S. Amatya, G.; [et al.]. (2002). Soil properties under a Pinus radiata – ryegrass silvopastoral system in New Zealand: Soil N and moisture availability, soil C, and tree growth. Agroforestry Systems. pp 147.
- [10] Damatta, F. y Rodríguez, N. (2007). Sustainable production of coffee in agroforestry systems in the Neotropics: An agronomic and ecophysiological approach. Agronomía Colombiana. pp 113-123.
- [11] Davidson, S. (2005). Shade Coffee Agro-Ecosystems in Mexico: A synopsis of the Environmental Services and Socio-Economic Considerations. Pp. 81-98 En: Montagnini, F. (Ed.). Environmental Services of Agroforestry Systems. Birmingham, NY, EE.UU., Haworth Press.
- [12] De Jong, B. Montoya, G. Soto, L. Nelson, K. Taylor, J. Tipper, R. (1995). Community forest management and carbon sequestration: A feasibility study from Chiapas, Mexico. Interciencia. Pp 504-511.
- [13] Farfán, F. (2014). Agroforestería y Sistemas Agroforestales con café. 342 pp. Manizales, Caldas, Colombia. FNC-Cenicafé.
- [14] Farfán, V. (2012). Árboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. FNC-Cenicafé. 88 pp.
- [15] Farfán, F. y Jaramillo, A. (2009). Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. Cenicafé. pp 39-54.

- [17] Fassbender, H. Alpizar, L.; [et al.]. (1988). Modelling agroforestry system of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) and poró (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica: Cycles of Organic Matter and Nutrients. *Agroforestry systems*. pp49-62.
- [18] FNC. Censo cafetero de Colombia, año 1932. (1932). *Revista Cafetera de Colombia*.
- [19] FNC. (1958). *Manual del cafetero colombiano*. Santa Fé de Bogotá, Colombia: FNC, Colombia. 571 pp.
- [20] FNC. (2011). Documento estratégico: Sostenibilidad de la caficultura colombiana. I. Diagnóstico climático. II. Alternativas de adaptación para la caficultura. 36 pp. FNC, Manizales, Caldas (Colombia).
- [21] FNC-SICA. (2013). Sistema de información cafetera: Encuesta nacional cafetera SICA, Estadísticas Cafeteras, informe final. 178 pp. Bogotá: FNC.
- [22] Forero, J. (2010). Colombian Family Farmers' Adaptations to New Conditions in the World Coffee Market. *Latin American Perspectives*. Pp93-110.
- [23] Giraldo, A. Duque, O. Farfán, F. (2000). Análisis económico de la caficultura orgánica. 41 pp. Chinchiná, Cenicafé.
- [24] Gómez, A. (1992). El sombrío en los cafetales conserva la capacidad de producción de los suelos. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Departamento de Recursos Naturales. Informe. 6p. Santafé de Bogotá.
- [25] Gómez, F; Roupsard, O; [et al.]. (2011). Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences*. Pp369-392.
- [26] Guhl, A. (2008). *Café y cambio de paisaje en Colombia, 1970-2005*. 334 pp. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.
- [27] Herzog, F. (1994). Multipurpose shade trees in coffee and cocoa plantations in Côte d'Ivoire. *Agroforestry Systems*. Pp259-267.
- [28] Junguito, B. y Pizano, S. (1991). *Producción de café en Colombia*. Bogotá: Fedesarrollo. 320 pp.
- [29] Lin, B. (2007). Agroforestry management as adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*. Pp85-94.
- [30] López, M. (2001). *Sistemas agroforestales tipo multiestratos*. Montevideo, Uruguay: ALADI. 50 pp.
- [31] Labrador, J. (1996). *Materia orgánica en los agrosistemas*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Mundi Prensa. 174 pp. Madrid
- [32] Nair, P. (1993). *An introduction to agroforestry*. Kluwer Academic Publishers, 499 pp. Dordrecht (Holanda).
- [33] Mestre, A. y Salazar, A. (1998). Establecimiento de un sistema de manejo de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafé*. pp 1-4. (Colombia)

- [34] Meylan, L. (2012). Design of cropping systems combining production and ecosystem services: developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers. Tesis PhD. 145 pp. Montpellier, Francia, Montpellier Supagro.
- [35] Montagnini, F. Ramstad, K.; [et al.]. (1993). Litterfall, litter decomposition and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*. Pp 39-61.
- [36] Morais, H. Caramori, P. Ribeiro, A. Gomes, J. Koguchi, M. (2006). Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Pp 763-770.
- [37] Moreno, R. (2002). Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. Cenicafé.
- [38] Muschler, R. (2000). Árboles en cafetales. Turrialba, CATIE. 139 p. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. Módulo No. 5.
- [39] Muschler, R. (2001). Shade improves coffee quality in a sub optimal coffee zone of Costa Rica. *Agroforestry Systems*. Pp 131-139.
- [40] Nair, P. (1993). An introduction to agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic. 499 pp.
- [41] Perfecto, I. Vandermeer, J. Mas, A. Pinto, L. (2005). Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics*. Pp 435-446.
- [42] Rice, R. y Greenberg, R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *Ambio*.
- [43] Rosenthal, E. (2011). Heat Damages Colombia Coffee, Raising Prices (en línea). The New York Times. Disponible En: <http://www.nytimes.com/2016/04/15/science/earth/10coffee.html?pagewanted=all>.
- [44] Saldías, B. (2006). El sistema de información cafetera SICA: Herramienta de consulta y planeación. Seminario. Chinchiná: CENICAFÉ.
- [45] Somarriba, E. Harvey, C. Samper, M. Anthony, F. González, J. Staver, C. Rice, R. (2004). Biodiversity Conservation in Neotropical Coffee (*Coffea Arabica* L) Plantations. 523 pp. En Schroth, G. (Ed.). *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Washington DC, EE.UU., Island Press.
- [46] Soto, L. Perfecto, I.; [et al.]. (2000). Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Pp 61-69.
- [47] Stadtmüller, T. (1994). Impacto hidrológico del Manejo Forestal en bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. Turrialba, C.R., CATIE. 62 pp
- [48] Staver, C. Guharay, F.; [et al.]. (2001). Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: Shade grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*. Pp 151-170.
- [49] Thompson, I. Mackey, B.; [et al.]. (2009). Forest resilience, biodiversity, and climate change: A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in

forest ecosystems. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 67 pp.

[50] Toledo, M. y Moguel, P. (2012). Coffee and Sustainability: The Multiple Values of Traditional Shaded Coffee. *Journal of Sustainable Agriculture*. Pp 353-377.

[51] Vidhana, L. y Liyanage, M. (2003). Soil water content under coconut palms in sole and mixed (with nitrogen-fixing trees) stands in Sri Lanka. *Agroforestry System*. Pp 1-9.

[52] Villalobos, A. (2004). An analysis of the Latin America supply of sustainable coffee. Executive summary. Alajuela, Centro de Inteligencia de Mercados- CIMS. 12 pp.

[53] Zaia, F. y Gama, R. (2004). Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense: Fertilidade e nutrição do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Pp 843-852.