

Sinergias mitigación - adaptación al cambio climático en sistemas de producción de café (*Coffea arabica*), de Tolima, Colombia

Diana Skarly Canal Daza & Hernán J. Andrade C.

Grupo de Investigación PROECUT. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Barrio Santa Helena parte alta A.A 546. Ibagué-Tolima, Colombia; dscanal@ut.edu.co, hjandrade@ut.edu.co

Recibido 19-III-2017. Corregido 10-IX-2018. Aceptado 24-I-2019.

Abstract: Mitigation - adaptation synergies of climate change of coffee (*Coffea arabica*) production systems in Tolima, Colombia. Climate change is mainly generated by an increase of greenhouse gas emissions. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has established mitigation and adaptation as strategies to deal with climate change. However, few studies have been developed jointly. With the purpose of studying the possible synergies between mitigation and adaptation, three coffee production systems in the municipality of Líbano: agroforestry systems (AFS) with *Cordia alliodora*, AFS with plantain and monocultures, with four replications by treatment, were evaluated. As mitigation indicator, the carbon footprint in the coffee production and processing was estimated, whereas the adaptation was measured as the ant diversity. The AFS with *C. alliodora* favor both mitigation and adaptation to climate change since they have a positive carbon footprint and the greatest richness of ant genus (12.8 vs -3.0 vs -6.4 Mg CO₂e/ha/year in carbon footprint and 1.3 vs 0.6 vs 0.6 of Margalef Index of ants in AFS with *C. alliodora*, AFS with plantain and monoculture, respectively). The agricultural production systems, environmental-friendly managed and associated with native trees, are a good strategy to implement in programs of mitigation-adaptation of climate change. The inclusion of native tree favors the producer's economy and increases the shelter places and the minimal conditions for surviving, similar to natural ecosystems so the different groups of animals for climate change adaptation.

Key words: diversity; biomass; ants; carbon footprint; agroforestry systems.

Canal Daza, D. S., & Andrade C., H. J. (2019). Sinergias mitigación - adaptación al cambio climático en sistemas de producción de café (*Coffea arabica*), de Tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 36-46.

El cambio en el clima del planeta, generado principalmente por actividades antropogénicas, es inequívoco ya que muchos de los cambios observados desde la década de 1950 no tienen precedentes (Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC], 2014). Esto tiene como consecuencia principal el calentamiento de la atmósfera y los océanos, debido mayormente al incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2013). Ante este panorama el IPCC reconoce la necesidad de establecer medidas de mitigación

y adaptación con miras a reducir los riesgos del cambio climático (Duguma, Minang, & Van Noordwijk, 2014). La mitigación está encaminada en acciones para reducir las fuentes o potenciar los sumideros de GEI (IPCC, 2014). Entre las acciones propuestas para la mitigación se encuentra la combinación de cultivos y árboles, conocida como sistemas agroforestales (SAF), los cuales son un medio eficiente para capturar carbono atmosférico en biomasa y suelos (Albrecht & Kandji, 2003; Oelbermann, Voroney, & Gordon, 2004; Andrade, Segura,

Somarriba & Villalobos, 2008; Andrade et al., 2014b; Marín, Andrade, & Sandoval, 2016). Los SAF son una forma de uso de la tierra que satisface al menos tres condiciones básicas: 1) existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) al menos uno de los componentes es una leñosa perenne, 3) al menos uno de los componentes en una planta manejada con fines agrícolas, incluyendo los pastos (Somarriba, 1992). Los mercados regulados y los voluntarios también han incluido a los SAF dentro de sus opciones para mitigar el cambio climático.

Por otro lado, la adaptación es definida como el ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos actuales, o esperados, o sus efectos, los cuales moderan un daño o explotan oportunidades benéficas (Sepúlveda & Ibrahim, 2009). La adaptación de los ecosistemas puede ser evaluada a través de la diversidad de los organismos presentes en los diversos usos del suelo, dada su similitud con los hábitats naturales. Por ejemplo, los SAF multiestrato regulan el microclima y conservan los suelos, lo que podría favorecer la diversidad de especies, convirtiéndose en una medida importante para la adaptación al cambio climático (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales [IUCN], 2012). Los cambios de uso del suelo convierten los hábitats naturales en zonas de producción que alteran fuertemente los procesos ecológicos, cambiando el hábitat de muchas especies, generando la pérdida de diversidad vegetal y animal (Francesconi & Montagnini, 2015).

Generalmente, estas dos estrategias se plantean y evalúan por separado. Sin embargo, Chazarin, Locatelli & Garay (2014) muestran que la adaptación sola no puede enfrentar o eliminar todos los impactos del cambio climático, pero al implementar algunas medidas de mitigación se puede limitar estos impactos, indicando que lejos de ser estrategias mutuamente excluyentes, podrían manejarse como complementarias resultando ser más eficientes. A pesar de esto aún se está en proceso de caracterizar las sinergias entre las dos estrategias

y las metodologías para su implementación (Duguma et al., 2014).

Vallejo, Chacón & Cifuentes (2016) plantean la necesidad de fomentar las sinergias entre mitigación y adaptación con el fin de optimizar los procesos desde su planteamiento hasta la implementación, logrando una mayor efectividad de los beneficios que brindan. La agricultura sostenible, los SAF, la conservación y ganadería sostenible son considerados como usos del suelo con un gran potencial para evaluar las posibles sinergias entre mitigación y adaptación, ya que reviste un gran potencial para la captura de carbono en biomasa y suelos, además, de favorecer los procesos de adaptación de las comunidades naturales y humanas (Chazarin et al., 2014). El objetivo de este estudio fue estimar las posibles sinergias entre mitigación y adaptación al cambio climático, en tres sistemas de producción de café contrastantes en el municipio de Líbano, Tolima, con el fin de determinar las ventajas de implementar estas estrategias de manera simultánea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Se seleccionó el municipio de Líbano, por ser uno de los municipios con mayor vocación cafetera en el departamento del Tolima (Federación Nacional de Cafeteros [FNC], 2014). El estudio se desarrolló en seis fincas ubicadas en la zona rural del municipio, a una altitud media de 1 565 m (Gobernación del Tolima, 2015). Se evaluaron los sistemas de producción de café más dominantes: SAF asociado con nogal cafetero (*Cordia alliodora*), SAF asociado con plátano (*Musa AAB*) de forma permanente y monocultivo. La evaluación del procesamiento del grano se realizó en seis empresas procesadoras en los municipios de Ibagué, Armenia y Pereira que reciben el grano proveniente del Líbano, Tolima.

Mitigación del cambio climático: La huella de carbono, como un indicador de la mitigación al cambio climático, se estimó como la diferencia entre la tasa de fijación de carbono en biomasa arriba y abajo del suelo

(raíces estructurales) de árboles de sombra y arbustos de café y las tasas de emisión de GEI (CO₂, N₂O y CH₄) por el manejo de los sistemas de producción de café y el procesamiento del grano. Una huella de carbono positiva indica una fijación neta de GEI (mitigación); mientras que una negativa refleja una emisión neta de GEI.

La fijación de carbono promedio se estimó como el cociente entre el almacenamiento de carbono arriba y abajo del suelo y la edad de cada uno de los componentes del sistema (arbustos de café y árboles asociados). El almacenamiento de carbono se estimó de forma no destructiva, estableciendo parcelas temporales de muestreo. En cada lote se establecieron dos parcelas de 600 m² cada una, en las que se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) y la altura total a todos los árboles con dap ≥ 10 cm. La medición de los arbustos de café se realizó estableciendo una subparcela de 25 m² en la esquina nororiental de cada parcela de muestreo, allí se midió el diámetro del tronco a 15 cm (D₁₅) y la altura total de todas las plantas. La biomasa arriba y abajo del suelo se estimó mediante la utilización de modelos de biomasa (Cuadro 1). La biomasa total se obtuvo como la suma de la biomasa arriba y abajo del suelo de las planta de café y árboles asociados, la cual se transforma en carbono almacenado utilizando la fracción de carbono recomendada por el

IPCC de 0.47 (IPCC, 2006) y, finalmente se transforma en CO₂ con la constante estequiométrica de 3.67.

Las emisiones de gases de efecto invernadero se estimaron aplicando encuestas semiestructuradas a los productores y procesadores del grano, indagando la utilización de fertilizantes, combustibles fósiles (utilizado en labores de mantenimiento del cultivo, transporte de cosecha y personal), cal, leña y electricidad en las fincas y maquinas usadas en todos los procesos. Con los datos obtenidos, se estimaron los GEI emitidos en cada actividad en la producción y procesamiento, empleando factores de emisión (Cuadro 2).

Adaptación al cambio climático: La adaptación se estimó en términos de la diversidad de hormigas presentes en los diferentes sistemas de producción evaluados, ya que este taxa es considerado como indicador de la calidad y diversidad de los sistemas. En cada una de las parcelas se ubicaron al azar cinco unidades de muestreo, consistentes en una subparcela de 1 m², en las que se realizó la medición de la profundidad de la hojarasca (con el fin de correlacionar la profundidad de esta con la diversidad o riqueza de hormigas presente), colecta de individuos presentes alrededor y colecta de hojarasca según el protocolo de ALL (*Ants of the Leaf Litter Protocol*) (Agosti,

CUADRO 1
Modelos de biomasa por especie utilizados en tres sistemas de producción de café en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia

TABLE 1
Biomass models by species used in three coffee production systems in the municipality of Líbano, Tolima, Colombia

Especie	Componente de biomasa	Modelo de biomasa/método	Fuente
Café (<i>Coffea arabica</i>)	Arriba del suelo	Bai = 0.36 - 0.18 * D ₁₅ + 0.08 * D ₁₅ ²	Andrade, Segura, Feria, & Suárez (2016)
	Abajo del suelo	Bri = 0.15 * Bai	Andrade et al. (2014b)
Nogal cafetero (<i>Cordia alliodora</i>)	Arriba del suelo	Bri = 10 ^{(-0.51 + 2.08 * Log(DAP))}	Andrade et al. (2008)
	Abajo del suelo	Br = e ^{(-1.0587 + 0.8836 * Ln (Ba))}	Cairns, Brown, Helmer, & Baumgardner (1997)

Bai: biomasa arriba del suelo de individuos (kg/individuo), D₁₅: diámetro a 15 cm de altura, Bri: biomasa de raíces de individuos (kg/individuo), DAP: diámetro a la altura del pecho (cm), Ba: biomasa arriba del suelo (Mg/ha), Br: biomasa abajo del suelo (Mg/ha).

CUADRO 2

Factores de emisión de gases de efecto invernadero utilizados para calcular las emisiones en las diferentes actividades de producción y procesamiento de café en tres diferentes sistemas de producción en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia

TABLE 2

Easy of factors of Greenhouse gases used to calculate emissions in different production and processing activities of coffee in three different production systems in the municipality of Líbano, Tolima, Colombia

Actividad	Factor de emisión	Fuente
Fertilización nitrogenada	0.01 kg N ₂ O/kg de N	IPCC (2006)
Utilización de cal dolomita	0.122 kg C/kg de cal	IPCC (2006)
Combustibles fósiles	2.33 kg CO ₂ e/l gasolina	IPCC (2006)
Electricidad	130 g CO ₂ e/kWh	Camargo, Arboleda, & Cardona (2013)

Majer, Alonso, & Shultz, 2000). El material colectado fue almacenado y posteriormente procesado en el laboratorio de Entomología de la Universidad del Tolima, para identificar hasta el nivel de género las hormigas encontradas, utilizando las claves de Palacio y Fernández (2003), y Fernández y Palacio (2006).

Se trabajó con un diseño completamente al azar con tres tratamientos (sistemas de producción de café) y cuatro repeticiones (correspondientes a cuatro lotes en cada tratamiento), previo análisis de los datos para verificar que cumplen los supuestos para el análisis de varianza. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza a todas las variables estudiadas, además de una comparación de medias con la prueba LSD Fisher entre tratamientos con un nivel de significancia de 0.05. La diversidad de hormigas en los sistemas de producción de café se evaluó estimando los índices de diversidad de Shannon Wiener (H'), Simpson (K) y Margalef, para verificar diferencias significativas en cuanto a la diversidad de hormigas en los sistemas de producción se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Las posibles sinergias entre mitigación y adaptación en estos sistemas de producción se analizaron realizando una transformación de todas las variables a un índice entre 0 y 1, siendo 0 el menor valor y 1 el mayor, las cuales se plasmaron en un gráfico radial o de araña. Los sistemas que estén más cerca de la circunferencia externa (valor de 1) presentan

mayores beneficios en las sinergias mitigación-adaptación al cambio climático.

RESULTADOS

Mitigación al cambio climático: Los SAF con *C. alliodora*, son sistemas amigables con el ambiente en términos de huella de carbono, ya que la fijación de carbono en su biomasa fue mayor a las emisiones de GEI durante la producción y procesamiento del café, lo que contrasta con los SAF con plátano y monocultivo (12.8 ± 3.8 vs -3.0 ± 0.9 vs -6.4 ± 2.1 Mg CO₂e/ha/año, respectivamente) (Fig. 1).

Adaptación al cambio climático: Se recolectaron un total de 1 888 individuos en un área de muestreo de 60 m², distribuidos en ocho subfamilias y 24 géneros, seis de los cuales (*Cephalotes*, *Dorymyrmex*, *Hypoponera*, *Pachycondyla*, *Octostruma* y *Proceratium*) se reportan de forma exclusiva en los SAF con *C. alliodora*; mientras que *Crematogaster*, *Cyphomyrmex*, *Gnamptogenys* y *Paratrechina* fueron encontrados en los SAF con *C. alliodora* y los SAF con plátano. El índice de riqueza de Margalef mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los sistemas evaluados, mientras que los índices de Shannon Wiener y Simpson, que miden dominancia y equidad, no resultaron diferentes estadísticamente ($P > 0.05$) (Fig. 2). La profundidad de la hojarasca fue diferente estadísticamente entre los sistemas evaluados

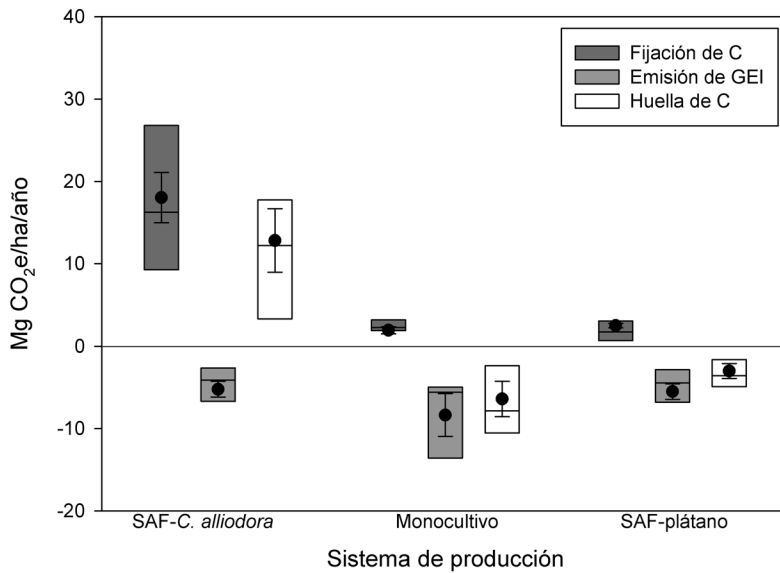


Fig. 1. Huella de carbono en tres diferentes sistemas de producción de café en el municipio de Líbano, Tolima. SAF: sistemas agroforestales.

Fig. 1. Carbon footprint in three different coffee production systems in the municipality of Líbano, Tolima. SAF: Agroforestry systems.

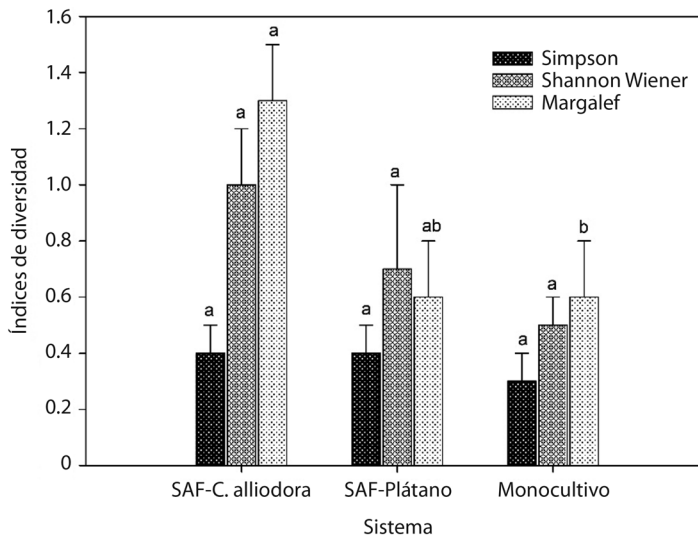


Fig. 2. Índices de diversidad de hormigas en tres sistemas de producción de café en el municipio de Líbano, Tolima, Colombia. SAF: sistemas agroforestales. Barras de error corresponden a error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Fig. 2. Diversity indexes of ants in three coffee production systems in the municipality of Líbano, Tolima, Colombia. SAF: Agroforestry systems. Error bars correspond to the standard error. Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

presentando una mayor profundidad en los SAF con *C. alliodora* (8.9 ± 0.11 cm vs 3.4 ± 0.12 cm en SAF con plátano vs 1.5 ± 0.14 cm en monocultivo). Lo que concuerda con la presencia exclusiva de géneros en los SAF con *C. alliodora* y plátano, pues la hojarasca brinda opciones de anidamiento, alimentación y la presencia de otros organismos importantes para estos géneros de hormigas.

Sinergias de mitigación y adaptación:

Las comparaciones entre las variables evaluadas en este estudio dan indicios de las posibles sinergias entre las dos estrategias para afrontar el cambio climático. Los SAF con *C. alliodora* favorecen tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático, son amigables con el medio ambiente ya que, por su estructura y manejo tienen una huella de carbono positiva, al tiempo que conservan la diversidad de especies. Analizando integradamente los indicadores de mitigación y adaptación, en todos los casos estos sistemas resultan benéficos para afrontar el cambio climático, siendo más claras las posibles sinergias y co-beneficios cuando se contrasta la riqueza de especies y la profundidad de la hojarasca con la huella de carbono y el almacenamiento de carbono (Fig. 3).

Los índices de Shannon-Wiener y Simpson presentaron los valores con mayor similitud entre los tres sistemas evaluados (0.41 vs 0.35 vs 0.26 en SAF con *C. alliodora*, SAF con plátano y monocultivo, respectivamente), contrastando con el índice de riqueza de Margalef (1.34 vs 0.63 vs 0.58 en SAF con *C. alliodora*, cafetales en monocultivo y SAF con plátano, respectivamente) (Fig. 3). De la misma forma, otras variables que podrían considerarse como indicadores de las sinergias mitigación-adaptación son mejores en los SAF-*C. alliodora*: la profundidad de la hojarasca (8.9 vs 3.4 vs 1.5 cm en SAF con *C. alliodora*, SAF con plátano y monocultivo respectivamente), la huella de carbono (12.8 vs -3.0 vs -6.4 Mg CO₂e/ha/año en SAF con *C. alliodora*, SAF con plátano y monocultivo respectivamente) y la fijación de carbono en biomasa (18.03 vs 2.5 vs 1.9 Mg

CO₂e/ha/año en SAF con *C. alliodora*, SAF con plátano y monocultivo respectivamente).

En el diagrama de red se puede observar que los SAF- *C. alliodora* presentan siempre los mayores valores en cada variable en comparación a los SAF- plátano y el monocultivo (Fig. 4). Esto confirma la relevancia de estos sistemas de producción como una herramienta útil y eficiente para implementar estrategias integradas de mitigación - adaptación al cambio climático. Contrastando, con los pobres resultados de los monocultivos y SAF con plátano, principalmente en términos de mitigación del cambio climático (Fig. 4).

DISCUSIÓN

Hergoualc'h, Blanchart, Skiba, Hénault & Harmand (2012) encontraron que el balance de GEI fue positivo en cerca de cuatro veces en los SAF con *Inga densiflora* respecto a los cafetales en monocultivo (14.6 vs 3.8 Mg CO₂e/ha/año, respectivamente) en Costa Rica. En contraste Rikxoort (2014), muestra resultados de huella de carbono en sistemas de café: $6.2-7.3$ y $9.0 - 10.8$ kg CO₂e/kg café en sistemas asociados con árboles y monocultivos, respectivamente. En el presente estudio, la incorporación de *C. alliodora* en los cafetales los está convirtiendo de emisores netos a fijadores netos de GEI, transformándolos en sistemas de producción amigables con el medio ambiente en términos de mitigación al cambio climático. Goodall, Bacon, & Méndez (2014) concluyen que la desaparición de los árboles en los cultivos de café reduce el almacenamiento de carbono, sugiriendo que la conservación de sistemas tradicionales de cultivo de café con sombra de árboles debe ser una estrategia para almacenar carbono atmosférico y conservar la diversidad. Rikxoort et al. (2014) concluyen que los policultivos tradicionales pueden tener reservas de carbono mucho más altas que los sistemas de monocultivo (42.5 vs 10.5 Mg C/ha, respectivamente).

La organización y hábitos alimenticios de los géneros de hormigas reportados en este estudio hace que requieran de abundante

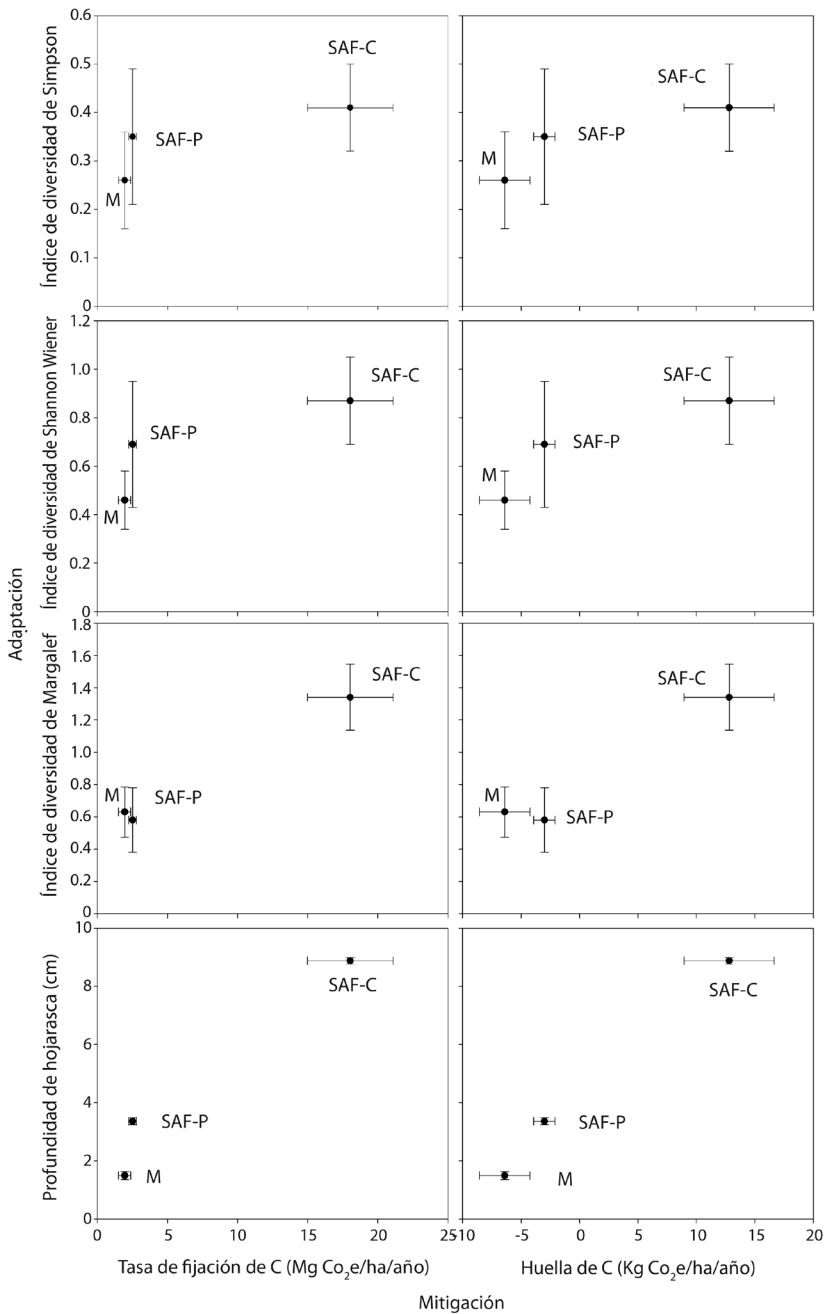


Fig. 3. Sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático empleando indicadores de carbono y diversidad de hormigas en los sistemas de producción de café más dominantes en el municipio de Libano, Tolima, Colombia. SAF-C: sistemas agroforestales -SAF- con *C. alliodora*, SAF-P: SAF con plátano, M: cafetales en monocultivo. Las barras de error corresponden al error estándar.

Fig. 3. Synergies between adaptation and mitigation to climate change using carbon and ant diversity indicators among the most dominant coffee production systems in the municipality of Libano, Tolima, Colombia. SAF-C: Agroforestry systems – SAF with *C. alliodora*, SAF-P: SAF with plantain, M: Coffee plantation in monoculture. Error bars correspond to the standard error.

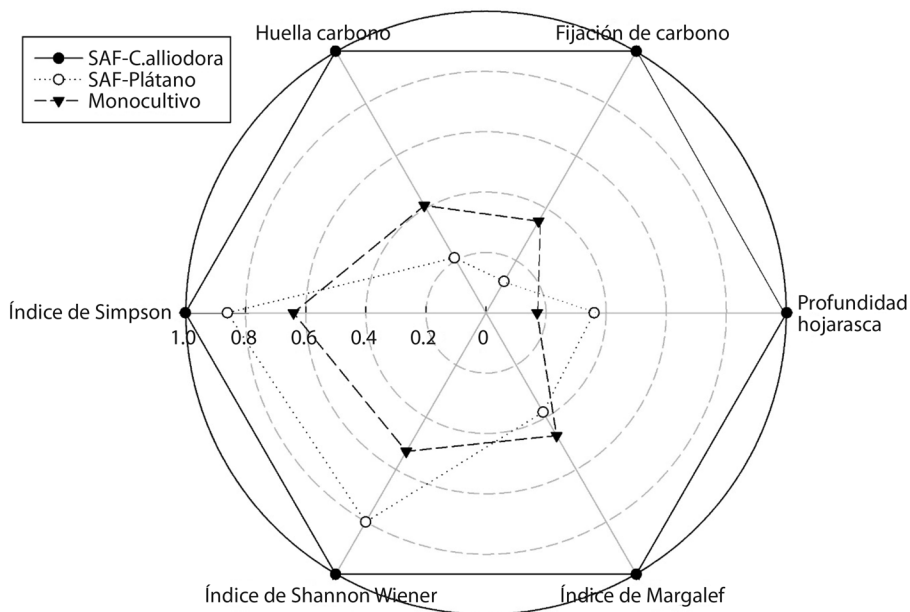


Fig. 4. Análisis integrado de indicadores de mitigación y adaptación al cambio climático en tres sistemas de producción de café en el municipio de Libano, Tolima, Colombia. Los valores representados corresponden a un índice que varía entre 0 y 1, siendo 0 el menor valor y 1 el mayor. Los sistemas que estén más cerca de la circunferencia externa presentan mayores beneficios en las sinergias mitigación-adaptación al cambio climático.

Fig. 4. Integrated analysis of mitigation and adaptation indicators to the climate change in three coffee production systems in the municipality of Libano, Tolima, Colombia. The values represented correspond to an index varies between 0 and 1, being 0 the least value and 1 the greater. Systems that are closer to the outer circumference have greater benefits in the synergies mitigation – adaptation to climate change.

hojarasca y materia orgánica en el suelo (Silvestre, Brandao, & da Silva, 2003). Sinisterra, Gallego, & Armbrrecht (2016) sugieren que la conservación de árboles de sombrero en los cafetales es esencial para el mantenimiento de un ensamblaje de insectos benéficos (como el caso del género *Crematogaster*, considerado un potencial controlador biológico de la broca del café), el establecimiento de redes tróficas y el mantenimiento de la diversidad biológica.

Los SAF son considerados una estrategia de mitigación por su potencial para reducir emisiones de GEI, al tiempo que favorecen la conservación de la diversidad, adicionalmente trae beneficios socioeconómicos para los productores (Herrera, Piedrahita, Chacon, & Canet, 2016; Machado & Rios, 2016). Farfán (2014) destaca entre los principales beneficios económicos de los SAF, la producción

de madera, frutos, semillas y látex; además de la reducción de gastos por la utilización de insumos agrícolas cuando el sistema es bien manejado e implementado, llevando a un incremento general en la rentabilidad de las fincas. La asociación de árboles maderables en SAF con cacao genera beneficios económicos para el productor, debido al incremento del valor comercial de la madera y su alta demanda en los diferentes mercados (Sol-Sánchez, López, Córdova, & Gallardo, 2018). Por otro lado, es claro que los cafetales en monocultivo y en SAF con plátano no son amigables con el medio ambiente, ya que tienen huella de carbono negativa y bajos índices de diversidad.

Un ejemplo de las sinergias entre la mitigación y adaptación es el programa NAMA (Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada) para el sector cafetalero de Costa Rica,

cuyo propósito primordial es la reducción de GEI pero se espera obtener beneficios adicionales en adaptación mejorando los medios de vida y apoyando la conservación de la diversidad (Vallejo et al., 2016). Tener claras las posibles sinergias entre la mitigación y la adaptación aumentaría la eficiencia y eficacia de la respuesta de las comunidades y ecosistemas al cambio climático. La mitigación y la adaptación están estrechamente relacionadas con la diversidad, se ha encontrado una fuerte relación entre la diversidad terrestre y las reservas de carbono a nivel mundial (Strassburg et al., 2010; Pramova, Di Gregorio & Locatelli, 2015). Además, existen relaciones estrechas entre la riqueza de especies y las reservas de carbono presentes en un determinado ecosistema o sistema de producción (Pramova et al, 2015).

Existen pocas experiencias y proyectos que busquen vincular las sinergias entre la mitigación y la adaptación en sistemas de producción agrícola. Tal como se evidencia en los resultados, la vinculación de indicadores de los dos tipos de estrategias para afrontar el cambio climático tiene un gran potencial para el análisis en búsqueda de las alternativas tecnológicas que promuevan ambas estrategias. Algunos investigadores coinciden en afirmar que las sinergias aparecen, en principio, como co-beneficios de la implementación de la mitigación o de la adaptación de manera independiente (Gómez & Jiménez, 2014; Pramova et al., 2015; Herrera et al., 2016; Vallejo et al., 2016). Entre los ejemplos que buscan demostrar la presencia de sinergias entre la mitigación y la adaptación, Vallejo y colaboradores (2016) presentan los SAF con café y cacao, en donde la variedad de servicios ecosistémicos ofertados hacen aportes claros en mitigación y adaptación. Estos mismos autores muestran que la integración entre la mitigación y la adaptación puede generar un enfoque “ganar-ganar” en el manejo de los ecosistemas, aumentando los beneficios y las posibilidades de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático. Los SAF con café son considerados como sistemas “ganar-ganar” ya que favorecen la diversidad

de distintos grupos taxonómicos, entre ellos las hormigas, además proveen otros servicios ecosistémicos como el almacenamiento de carbono (Urrutia & Armbrrecht, 2013; Caro & Torres, 2015; Arenas & Armbrrecht, 2018).

Los sistemas de producción agrícola, manejados de forma amigable con el ambiente y en asocio con árboles nativos, son un buen recurso para implementar programas de mitigación y adaptación al cambio climático. Incluir árboles nativos, principalmente maderables como *Cordia alliodora*, favorece económicamente a los productores, e incrementa los lugares de refugio y las condiciones mínimas de sobrevivencia, semejantes a los ecosistemas naturales para que los diferentes grupos de animales logren adaptarse a los cambios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Oficina Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima por la financiación del proyecto 80111, dentro del cual se desarrolló la presente investigación. A los productores del municipio de Líbano, Tolima, por los permisos para realizar el trabajo de campo en sus fincas.

RESUMEN

El cambio climático del planeta es generado principalmente por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) ha establecido la mitigación y adaptación como estrategias para enfrentar el cambio climático; sin embargo, ambas estrategias se han evaluado poco en conjunto. Con el objetivo de estudiar las posibles sinergias entre mitigación y adaptación, se evaluaron tres sistemas de producción de café en el municipio de Líbano: sistemas agroforestales (SAF) con *Cordia alliodora*, SAF con plátano y monocultivos con cuatro repeticiones por tratamiento. Como indicador de mitigación se estimó la huella de carbono en la producción y procesamiento del grano; mientras que la adaptación se midió como la diversidad de hormigas presentes. Los SAF con *C. alliodora* favorecen tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático, tienen una huella de carbono positiva además, tienen una mayor riqueza de géneros de hormigas (12.81 vs -3.0 vs -6.4 Mg CO₂e/ha/año en huella de carbono y 1.3 vs 0.6 vs 0.6 de Índice de Margalef de hormigas en SAF con *C. alliodora*, SAF con plátano y monocultivo, respectivamente). Los

sistemas de producción agrícola, manejados de forma amigable con el medio ambiente y en asocio con árboles nativos, son una buena estrategia para implementar programas de mitigación y adaptación al cambio climático. Incluir árboles nativos favorece económicamente a los productores, e incrementa los lugares de refugio y las condiciones mínimas de sobrevivencia, semejantes a los ecosistemas naturales para que los diferentes grupos de animales logren adaptarse a los cambios.

Palabras clave: biomasa; diversidad; hormigas; huella de carbono; sistemas agroforestales.

REFERENCIAS

- Agosti D., Majer J., Alonso L., & Shultz T. (Ed.). (2000). *Ants: Standard methods for measuring and monitoring Biodiversity*. Washington and London: Smithsonian Institution.
- Albrecht, A., & Kandji, S. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99, 15-27.
- Andrade, H., Marín, L., & Pachón, D. (2014a). Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. *Bioagro*, 26(2), 127-132.
- Andrade, H., Segura, M., Canal, D., Feria, M., Alvarado, J., Marín, L., ... Gómez, M. (2014b). The carbon footprint of coffee production chains in Tolima, Colombia. En M. Oelberman (Ed.), *Sustainable agroecosystems in climate change mitigation* (pp. 53-66). Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Andrade, H., Segura, M., Feria, M., & Suárez, W. (2016). Above-ground biomass models for coffee bushes (*Coffea arabica* L.) in Líbano, Tolima, Colombia. *Agroforestry Systems*, 92, 775-784. DOI: 10.1007/s10457-016-0047-4
- Andrade, H., Segura, M., Somarriba, E., & Villalobos, M. (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Revista Agroforestería de las Américas*, 46, 45-50.
- Arenas, A., & Armbrrecht, I. (2018). Gremios y diversidad de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) en tres usos del suelo de un paisaje cafetero del Cauca – Colombia. *Revista Biología Tropical*, 66(1), 48-57.
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E. & Baumgardner, G. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1-11.
- Camargo, L., Arboleda, M., & Cardona, E. (2013). Producción de energía limpia en Colombia, la base para un crecimiento sostenible. *Boletín virtual XM*. *Compañía Expertos en Mercados, filial de ISA, Colombia*. Recuperado de http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia_Feb2013.pdf
- Caro, C., & Torres, M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. *Revista Orinoquia*, 19(2), 237-252.
- Chazarin, F., Locatelli, B., & Garay, M. (2014). Mitigación en la selva, adaptación en la sierra y la costa: ¿Oportunidades perdidas de sinergias frente al cambio climático en Perú? *Ambiente y Desarrollo*, 18(35), 95-107.
- Duguma, L., Minang, P., & Noordwijk, M. (2014). Climate change mitigation and adaptation in the land use sector: from complementarity to synergy. *Environmental Management*, 54, 420-432.
- Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Manizales, Colombia: Blanecolor S.A.S.
- Federación Nacional de Cafeteros [FNC]. (2014). *Informe de Comités Departamentales, Por la Caficultura que queremos*. Recuperado de https://www.federacion-decafejeros.org/static/files/Informe_Comites_2014p.pdf
- Fernández, F., & Palacio, E. (2006). Familia Formicidae. En F. Fernández, & M. Sharkey (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la región Neotropical* (pp. 521-538). Bogotá, Colombia: Editora Guadalupe.
- Francesconi, W., & Montagnini, F. (2015). Los SAF como estrategia para favorecer la conectividad funcional del paisaje fragmentado. En F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueito, H. Fassola, & Eibil, B. (Eds.). 2015. *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (pp. 363-380). Cali, Colombia: Editorial CIPAV.
- Gobernación del Tolima. (2015). *Estadísticas 2011-2014: Líbano. Secretaría de Planeación y TIC Departamental*. Recuperado de <https://www.tolima.gov.co/publicaciones/13054>
- Gómez, A., & Jiménez, R. (2014). Sinergias entre mitigación y adaptación. En Congreso Nacional del Medio Ambiente [Comana] (Ed.), *GT-1 Mitigación y adaptación en el sector agrario*. Madrid, España: Conama.
- Goodall, K., Bacon, C., & Méndez, V. (2014). Shade tree diversity, carbon sequestration, and epiphyte presence in coffee agroecosystems: A decade of smallholder management in San Ramón, Nicaragua. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 199, 200-206.
- Hergoualch, K., Blanchart, E., Skiba, U., Hénault, C., & Harmand, J. (2012). Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga*

- densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 148, 102-110.
- Herrera, B., Piedrahita, C., Chacón, O., & Canet, L. (2016). *Priorización de paisajes para fomentar sinergias entre adaptación y mitigación al cambio climático en áreas funcionales para la conservación de la biodiversidad. Programa Regional de Cambio Climático*. Informe de Consultoría. Turrialba, Costa Rica: CATIE-USAID.
- Machado, M., & Ríos, L. (2016). Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática. *IDESIA*, 34(2), 3-11.
- Marín, M. P., Andrade, H., & Sandoval, A. (2016). Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 19(2), 351-360.
- Oelbermann, M., Voroney, R., & Gordon, M. (2004). Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and Southern Canada. *Agriculture, Ecosystem and Environmental*, 104, 359-377.
- Palacio, E., & Fernández, F. (2003). Claves para subfamilias y géneros. En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical* (pp. 233-260). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC]. (2014). *Cambio climático 2014, informe de síntesis, resumen para responsables de políticas*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC]. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Recuperado de <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático [IPCC]. (2013). *Cambio climático 2013 - Bases físicas*. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf
- Pramova, E., Di Gregorio, M., & Locatelli, B. (2015). *Integración de la adaptación y la mitigación en las políticas sobre cambio climático y uso de la tierra en Perú*. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Rikxoort, H., Schroth, G., & Laderach, P. (2014). Carbon footprints and carbon stocks reveal climate – friendly coffee production. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(4), 887-897.
- Sepúlveda, C., & Ibrahim, M. (Eds.). (2009). *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas: como una medida de adaptación al cambio climático en América Central*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Silvestre, R., Brandao, C., & da Silva, R. (2003). Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. En F. Fernández (Ed.), *Introducción a las hormigas de la región neotropical* (pp. 113-148). Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Sinisterra, R., Gallego, M., & Armbrrecht, I. (2016). Hormigas asociadas a nectarios extraflorales de árboles de dos especies de *Inga* en cafetales del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(1), 9-15.
- Sol-Sánchez, A., López, S., Córdova, V., & Gallardo, F. (2018). Productividad potencial del SAF cacao asociado con árboles maderables. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), 862-877.
- Somarriba, E. (1992). Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry Systems*, 19(3), 233-240.
- Strassburg, B., Kelly, A., Balmford, A., Lovett, A., Miles, L., Orme, D.,... Rodrigues, A. (2010). Global congruence of carbon storage a biodiversity in terrestrial ecosystems. *Conservation Letters*, 3(2), 98-105.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales [UICN]. (2012). *Adaptación basada en ecosistemas: Una respuesta al cambio climático*. Quito, Ecuador: UICN.
- Urrutia, M., & Armbrrecht, I. (2013). Effect of two agroecological management strategies on ant (Hymenoptera: Formicidae) diversity on coffee plantations in southwestern Colombia. *Environmental Entomology*, 42(2), 194-203.
- Vallejo, C., Chacón, M., & Cifuentes, M. (2016). *Sinergias entre adaptación y mitigación del cambio climático (SAM) en los sectores agrícola y forestal. Concepto y propuesta de acción*. Turrialba, Costa Rica: CATIE-USAID.