

## LOS CAFETALES BAJO SOMBRA Y SU INFLUENCIA EN LA PROTECCIÓN DE LA FAUNA SILVESTRE

Diana Andrea Nieves Rocha<sup>1</sup>✉, Jesús García Grajales<sup>2</sup> y Alejandra Buenrostro Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Posgrado en Manejo de Fauna Silvestre, Universidad del Mar campus Puerto Escondido. Km. 2.5, Carretera Federal Puerto Escondido-Sola deVega, Puerto Escondido, C.P. 71980, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>Instituto de Recursos/Instituto de Industrias, Universidad del Mar campus Puerto Escondido. Km. 2.5, Carretera Federal Puerto Escondido-Sola deVega, Puerto Escondido, C.P. 71980, Oaxaca, México.

✉ [diananievesro17@gmail.com](mailto:diananievesro17@gmail.com)

### Resumen

Debido al aumento en la población mundial, los sistemas agrícolas se han expandido, causando impactos importantes sobre los ecosistemas, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Los agroecosistemas permiten mediante la aplicación de principios biológicos mantener la producción de alimentos y disminuir el impacto de los mismos. Los cafetales bajo sombra proveen una “sombra protectora” asociada a la cobertura forestal la cual contribuye a la generación de servicios ecosistémicos y conservación de fauna silvestre. Así mismo, las especies faunísticas tienen un papel crucial sobre la generación, mantenimiento y regulación de los servicios ecosistémicos que finalmente tienen beneficios sobre los seres humanos. El aporte de los servicios ecosistémicos hacia la fauna, así como los servicios ecosistémicos que estos aportan aún es poco estudiado y son necesarios más estudios que evalúen los servicios ecosistémicos en agroecosistemas, particularmente en los cafetales bajo sombra, puesto que la cafecultura es una actividad de gran importancia para México.

**Palabras clave:** Cafetales bajo sombra, fauna silvestre, servicios ecosistémicos, sombra protectora.

### Abstract

Due to the increase in the world population, agricultural systems have expanded, causing significant impacts on the ecosystems, biodiversity, and ecosystem services. Agroecosystems allow, through the application of biological principles, to reduce the impact of food production. Shaded coffee plantations provide a “protective shade” associated with forest cover which contributes to the generation of ecosystem services and wildlife conservation. Likewise, fauna species play a crucial role in the generation, maintenance and regulation of ecosystem services that ultimately have benefits for humans. The contribution of ecosystem services to fauna, as well as the ecosystem services they provide, are still slightly studied, so more studies are needed to evaluate ecosystem services in agroecosystems, particularly shaded coffee plantations, since coffee growing is an activity of great importance for Mexico.

**Keywords:** Shaded coffee plantations, wildlife, ecosystem services, protective shade.

### INTRODUCCIÓN

Desde la prehistoria y hasta la actualidad, la agricultura es una de las principales actividades que proveen alimentos en el mundo (Andrade, 2016). Sin embargo, con el aumento descontrolado de la población mundial, dichas actividades han expandido sus horizontes causando impactos detrimentales sobre la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (Firbank *et alii*,

2008). Por ello, se han desarrollado diversos tipos de sistemas agrícolas que cubran las necesidades, pero con un menor impacto sobre el ambiente (Rudel *et alii*, 2009; Perfecto *et alii*, 2010).

De manera general, los sistemas productivos pueden clasificarse en intensivos y extensivos (Pomboza-Tamaquiza *et alii*, 2016). Los sistemas intensivos se caracterizan por optimi-

zar al máximo la producción haciendo uso de toda la superficie disponible, sacando el mayor provecho, utilizando fertilizantes y químicos para garantizar la producción; mientras que los sistemas extensivos aprovechan características como tipo de suelo, relieve y topografía del sitio, fomentando el uso de abonos orgánicos para los cultivos (Pomboza-Tamaquiza *et alii*, 2016). Ambos sistemas pueden subclasificarse en monocultivos o policultivos. En este sentido, los monocultivos corresponden a las plantaciones de una sola especie y por lo general se asocian con los sistemas intensivos. En cambio, los policultivos integran varias especies de cultivos, permitiendo una mayor heterogeneidad en el sistema, siendo asociados mayoritariamente a los sistemas extensivos.

Pese a que los sistemas intensivos con monocultivos pueden tener una mayor eficiencia a corto plazo, se ha demostrado que con el paso del tiempo estos suelos pierden su calidad. Por lo que es necesario y urgente que los sistemas agrícolas apliquen conocimientos científicos para evitar el mayor impacto posible sobre el ambiente y los servicios ecosistémicos que estos pueden ofrecer (Firbank *et alii*, 2008; Muñoz-Espinosa *et alii*, 2016), principalmente por su avance hacia áreas que se mantenían conservadas (Andrade, 2016).

Debido a las repercusiones que tienen los sistemas intensivos sobre los hábitats conservados, los sistemas agroecológicos han sido una de las estrategias que han demostrado tener el menor impacto, pues aplican principios biológicos y ecológicos que amortiguan el impacto de la agricultura sobre el ambiente y sus servicios ecosistémicos (Ortega, 2009). Un agroecosistema de gran importancia son los cafetales bajo sombra (Perfecto *et alii*, 1996), mismos que se consideran de bajo impacto porque priorizan la diversidad estructural de la vegetación contribuyendo al mantenimiento y estabilidad de los ecosistemas (Manson *et alii*, 2008). Los cafetales bajo sombra hacen referencia a una plantación de cafetos que crecen bajo la sombra de árboles más grandes, mismos que pertenecen a fragmentos de bosques conservados (Perfecto *et alii*, 1996).

En este sentido, México es considerado el décimo tercer productor de café a nivel mundial. Los estados con mayor producción de café son, en orden de productividad, Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero (SIAP, 2024). Considerando esto, en este trabajo se describe la importancia de la sombra protectora del café a través de sus servicios ecosistémicos y su influencia en la protección de la fauna silvestre, así como los diferentes servicios ecosistémicos que brinda la fauna a los cafetales bajo sombra y que promueven la protección de los mismos.

## LOS CAFETALES BAJO SOMBRA

En México, los cafetales bajo sombra se caracterizan porque las plantas de café (cafetos) están intercalados con diferentes especies arbóreas, las cuales les brindan sombra y protección (Moguel y Toledo, 1999; Guhl, 2009). Una de las particularidades de la cafecultura en México es que la mayor parte de los estados productores de café se rigen bajo este sistema (Bartra *et alii*, 2003). No obstante, las características de cada una de las plantaciones y su manejo, varían entre ellas debido a una serie de variables tanto ambientales como socioeconómicas (Soto-Pinto *et alii*, 2007; Hernández-Martínez, 2008), entre las que se cuentan la estructura vegetal (estratos), el tipo de manejo del cafetal, las variables del paisaje (pendientes y altitud), así como las características socioeconómicas de los productores (Perfecto *et alii*, 1996; Hernández-Martínez, 2008; Guhl, 2009).

Los cafetales bajo sombra se clasifican en cuatro tipos: rústico, policultivo tradicional, policultivo comercial y monocultivo sombreado (Moguel y Toledo 1999; Hernández-Martínez, 2008). Los cultivos rústicos implican el control del sotobosque, es decir, se mantiene un estricto control de la maleza y todas aquellas especies vegetales cercanas al suelo, incluida la poda ocasional de los cafetos. Hasta ahora, se reconoce que este tipo de manejo es el más parecido a la matriz original del ecosistema. Por otra parte, el policultivo tradicional implica un manejo más complejo en comparación del rústico, ya que en este se combinan tanto especies arbóreas nativas, como especies frutales introducidas (Soto-Pinto *et alii*, 2007). En el policultivo comercial se sigue la misma pauta que el tradicional, la diferencia radica en que algunas especies arbóreas nativas son removidas para sembrar árboles que además de brindar sombra tengan adicionalmente un uso comercial; además, en este sistema se utilizan cantidades considerables de agroquímicos. Finalmente, en el monocultivo sombreado se plantan árboles de una sola especie para proporcionar sombra al cafetal, se hace el manejo de control de malezas y la poda selectiva y sistematizada de los cafetos. Lamentablemente, en este caso el uso de agroquímicos es indispensable y suele asociarse a grandes productores (Moguel y Toledo 1999; Hernández-Martínez, 2008).

## SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS CAFETALES BAJO SOMBRA Y SU PROTECCIÓN A LA FAUNA SILVESTRE

Los cafetales bajo sombra tienen contribuciones importantes sobre la conservación de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos (Jha *et alii*, 2014). Se definen como servicios

ecosistémicos a todos aquellos beneficios tangibles o intangibles que reciben los seres humanos a partir del funcionamiento adecuado de los ecosistemas, sean éstos totalmente conservados o transformados (MEA, 2003). Si bien estos servicios tienen un beneficio directo sobre la sociedad, también tienen un impacto indirecto pues brindan protección a las especies que habitan en ellos (Jha *et alii*, 2014; Villarreyna *et alii*, 2020). Sin embargo, en pocas ocasiones se ha abordado este enfoque, por lo regular se habla de los servicios que estos prestan a los ecosistemas. Los servicios ecosistémicos se clasifican en cuatro categorías (Nava-López *et alii*, 2009). La primera de ellas son los servicios de provisión, definidos como aquellos beneficios materiales con recompensas directas para las personas, como granos de café, leña y frutas. La segunda categoría se refiere a los servicios culturales, los cuales se basan en bienes intangibles, es decir, aquello que no puede ser percibido por los sentidos o que no se puede tocar, están asociados comúnmente a cuestiones de percepción del medio natural como los paisajes naturales y las tradiciones (Villarreyna *et alii*, 2020). Como tercera categoría se encuentran los servicios de regulación, donde se incluyen los beneficios que se obtienen de los ecosistemas por los procesos naturales del mismo, como la regulación climática, calidad del aire, secuestro de carbono, control biológico y la polinización. Finalmente, la cuarta categoría corresponde a los servicios de soporte, es decir, aquellos que brindan beneficios de manera indirecta por procesos propios de los ecosistemas como la polinización, ciclaje de nutrientes y fertilización del suelo (Nava-López *et alii*, 2009; Villarreyna *et alii*, 2020).

De esta forma, podemos entender que la “sombra protectora” de los cafetales bajo sombra se refiere a todos aquellos beneficios que obtiene la fauna silvestre de manera indirecta por la simple existencia de este tipo de agroecosistemas. Entre los muchos servicios ecosistémicos que aportan los cafetales bajo sombra a la sociedad, es necesario indagar ¿cuál de éstos tienen una aportación sobre la protección de la fauna silvestre que en ellos habitan? (Harvey *et alii*, 2005; Kandus *et alii*, 2010). Para explicar el anterior cuestionamiento, intentaremos centrar nuestro enfoque desde la importancia de la cobertura forestal.

#### Provisión de hábitat

Una de las características principales de los cafetales bajo sombra es la provisión de hábitat para un gran número de especies, así como los recursos y condiciones necesarias para su adecuación, es decir, la supervivencia y reproducción de las

especies (Kandus *et alii*, 2010). Por lo tanto, la provisión de hábitat como servicio ecosistémico está fuertemente relacionado con la cobertura forestal, puesto que la alta densidad de árboles, ya sea frutales y nativos, es una de las características esenciales de los cafetales bajo sombra y de los sistemas agrícolas (Montagnini *et alii*, 2004; Harvey *et alii*, 2005). En este sentido, los cafeticultores se ven beneficiados con la sombra de los árboles con la obtención de alimentos, materias primas y protección para el cultivo principal de café, mientras que algunos grupos taxonómicos específicamente los anfibios, mamíferos y aves reciben beneficios por dicha cobertura al recibir protección y refugio para vivir (Montagnini *et alii*, 2004).

Por lo tanto, bajo el dosel de los cafetales bajo sombra se pueden encontrar especies a los que esta sombra les brinda refugio. A las especies que habitan en los árboles se les conoce como especies arborícolas y han pasado millones de años para crear las adaptaciones que les permiten vivir en los troncos, hojas y ramas de los árboles. Se habla mucho de anfibios y reptiles arborícolas (Ramírez-Bautista *et alii*, 2024), pero poco se habla de la gran diversidad de mamíferos que dependen de los árboles, conocidos como mamíferos del dosel (Astiazaran y Gallina, 2018). Se han documentado 33 especies de mamíferos del dosel en México, la mayoría se encuentra en selvas tropicales o bosques templados y proveen de una amplia diversidad de funciones a los ecosistemas. Algunos de los mamíferos del dosel más conocidos son las ardillas (*Sciurus aureogaster*), tlacuaches (*Didelphis marsupialis*), coaties (*Nasua narica*), puerco espín (*Coendu mexicanus*), oso hormiguero (*Tamandua mexicana*), martuchas (*Potos flavus*). Pero también está la presencia de grandes especies del orden de los carnívoros como el tigrillo (*Leopardus wiedii*) (Astiazaran y Gallina, 2018; Martínez *et alii*, 2023). De ahí la importancia de la sombra protectora de los cafetales bajo sombra.

#### Mantenimiento de las interacciones biológicas

Las interacciones biológicas entre las especies de una comunidad pueden formar y establecer complejas conexiones entre una o más especies, formando lo que comúnmente se conoce como redes de interacción (Rico-Gray, 2007). Estas redes son una parte funcional importante de la sombra de protección de los cafetales bajo sombra. Al existir una amplia diversidad de grupos taxonómicos beneficiados por la provisión de hábitat (Harvey *et alii*, 2005), es posible encontrar también una compleja red de interacciones resultante de la heterogeneidad en este tipo de sistemas. Dichas interacciones proporcionan beneficios al cafetal, razón por la cual es considerado un servi-

cio ecosistémico, como la polinización y el control de plagas (Chain-Guadarrama *et alii*, 2021). Además, al existir una red compleja y robusta de interacciones, las especies faunísticas tendrán una mayor capacidad de supervivencia ante los disturbios o presiones que se puedan presentar en el sitio y de esta manera se asegura la permanencia de sus poblaciones (López-Flores *et alii*, 2024), garantizando el mantenimiento de la diversidad genética en los ecosistemas.

Un ejemplo de esto es el realizado por López-Flores *et alii* (2024) en donde se comparó la composición de las redes de interacción entre colibríes y las plantas que polinizan en tres tipos de uso de suelo (bosques, cafetal bajo sombra y pastizales para ganado). En este trabajo se demostró la importancia de los cafetales bajo sombra sobre la riqueza de especies de colibríes, pero también su importancia como refugio de especies especialistas y sus respectivas plantas, las cuales promueven la permanencia de grupos funcionales importantes para mantener la dinámica de los ecosistemas.

### Regulación del clima

La sombra del dosel ofrece una serie de variables abióticas que en conjunto forman un microclima que brinda protección y recursos para sobrevivir y desarrollarse a todas aquellas especies que habitan bajo su sombra (Ruelas-Monjardín *et alii*, 2014). En este sentido, debajo del dosel hay una serie de cambios en las variables ambientales como la temperatura, humedad, velocidad del viento, velocidad de evaporación y exposición al sol que en su conjunto generan un ambiente óptimo para el establecimiento de diversas especies (Beer *et alii*, 1997; Jha *et alii*, 2014).

Este servicio es uno de los que tiene mayor influencia sobre la fauna silvestre, puesto que algunas especies tienen una menor tolerancia a la perturbación. De esta manera, la sombra de protección de los cafetales bajo sombra amortigua el efecto de la fragmentación de los hábitats brindando parches conservados que mantienen un clima similar al de la matriz original (Jha *et alii*, 2014; Ruelas-Monjardín *et alii*, 2014). El microclima de los cafetales bajo sombra en comparación con los cafetales expuestos al sol presenta una marcada diferencia. Primero, la incidencia de la radiación es menor, así como la temperatura, la cual está relacionada con el tamaño tanto de la vegetación como del dosel. Segundo, otra de las variables que presentan una marcada diferencia entre los cafetales bajo sombra y aquellos expuestos al sol es la evaporación y el viento, en ambos casos se presentan valores menores en comparación con cafetales con otro tipo de manejo, demostrando las características

de regulación del clima que presentan estos sistemas (Jaramillo y Gómez, 1989).

### Regulación hidrológica

Otro servicio adicional que tiene la cobertura forestal sobre los agroecosistemas está directamente relacionado con el agua (Beer *et alii*, 2003; Casanova-Lugo *et alii*, 2016). Los árboles cumplen un papel importante en la captación y retención del agua en el suelo evitando de esta manera la escorrentía y erosión del mismo, su ausencia resulta en el lavado de nutrientes del suelo (lixiviación), pudiendo contaminar el agua subterránea o a la pérdida de sus nutrientes.

Bajo esta panorámica, la presencia de árboles mejora la calidad del agua (Beer *et alii*, 2003), lo que representa un beneficio a las personas, ya sea porque mejora la calidad para consumo propio o porque beneficia directamente a los cultivos (Casanova-Lugo *et alii*, 2016). De manera similar, una densa cobertura vegetal ayuda al mantenimiento de los cuerpos de agua superficiales evitando su evaporación, ofreciendo a su vez recursos y condiciones óptimas para que la fauna silvestre se desarrolle en estos sistemas. Hasta ahora, se reconoce que las especies, particularmente las especialistas, como los jaguares, suelen asociarse con la cercanía o presencia de cuerpos de agua, por lo que este servicio ecosistémico tiene una repercusión vital (Sollmann *et alii*, 2012).

### Fauna silvestre como prestadora de servicios ecosistémicos en cafetales bajo sombra

Sabemos que los servicios ecosistémicos pueden a su vez tener beneficios indirectos sobre la fauna silvestre; no obstante, es necesario comprender que existen aportaciones directas de la fauna silvestre sobre los servicios ecosistémicos de un agroecosistema. Para lograr establecer un marco de referencia y propuestas más robustas sobre la importancia del cuidado y protección de la fauna silvestre, no únicamente por cuestiones de conservación, sino porque también representan un beneficio para el ser humano de manera tangible, es crucial entender el papel que juega la fauna silvestre como prestadores de servicios ecosistémicos.

Existe evidencia del papel de la fauna silvestre sobre los servicios ecosistémicos de los cafetales bajo sombra. Por mencionar algunos ejemplos:

### Control de plagas

Los cafetales bajo sombra frecuentemente se ven amenazados por múltiples plagas que tienen como consecuencia

pérdidas económicas a raíz de la pérdida del cultivo de café. Las plagas que afectan a los cafetales son principalmente por enfermedades fúngicas o por insectos. En este sentido, los insectos representan un gran riesgo por las pérdidas económicas anuales que generan en estos sitios (Franqui y Medina 2003; Vega *et alii*, 2009).

La presencia de aves insectívoras en los cafetales bajo sombra representa una de las estrategias más eficaces para reducir el impacto de plagas de insectos sobre los cultivos (Chain-Guadarrama *et alii*, 2021; Paredes *et alii*, 2022), como por ejemplo la broca del café (*Hypothenemus hampei*), un coleóptero que figura como una de las principales plagas de los cafetales (Franqui y Medina, 2003). Esta plaga afecta principalmente a los frutos del café, los cuales son vitales para completar su ciclo de vida. Particularmente, los cafetales bajo sombra son más susceptibles a estas plagas por la sombra y la falta de manejo intensivo. Por lo tanto, mantener áreas conservadas con el hábitat necesario para que se establezcan poblaciones de aves, principalmente las insectívoras, tendrá a su vez como consecuencia la protección de los cultivos de café (Franqui y Medina, 2003; Martínez-Salinas, 2016; Chain-Guadarrama *et alii*, 2021). Por ejemplo, en un cafetal de Costa Rica encontraron que cuando hay una mayor riqueza de aves insectívoras, hay una tasa de infestación menor a los sitios en donde no había esta riqueza (Chain-Guadarrama *et alii*, 2021).

A pesar de ser las más estudiadas, las aves no son el único grupo que presta este servicio de control de plagas. Los mamíferos, específicamente los carnívoros, tienen un papel vital para el control de poblaciones. Debido a su posición en la cadena trófica también regulan las poblaciones al alimentarse de presas que pueden estar enfermas o débiles, así como las más abundantes, evitando así la propagación de enfermedades y plagas (Rumiz, 2010). Así mismo, los reptiles, pese a ser uno de los grupos más estigmatizados por los humanos, también pueden brindar este servicio pues su dieta principal está conformada por pequeños mamíferos (roedores), otros reptiles, polluelos y anfibios (Valencia-Aguilar *et alii*, 2013; Balderas-Valdivia *et alii*, 2021), controlando a su vez las poblaciones de especies que pueden dañar a los cultivos al convertirse en plagas (Valencia-Aguilar *et alii*, 2013).

### Dispersión de semillas

Debido a que la evaluación de los servicios ecosistémicos ocurre en función de los beneficios para los seres humanos, existe un sesgo en la investigación sobre como los diversos grupos taxonómicos de la fauna silvestre aportan a los servicios

ecosistémicos. Uno de los servicios ecosistémicos que no se suelen evaluar como tal es el de la dispersión de semillas que, a pesar de ser vital para el mantenimiento de los ecosistemas, es poco estudiado debido a la dificultad de cuantificarse el beneficio de manera económica (Paredes *et alii*, 2022). Sin embargo, se han realizado estudios que nos permiten demostrar que existen especies que participan en la dispersión de semillas, ayudando al mantenimiento de los sistemas (Sánchez-Brenes, 2022).

La dispersión de semillas varía en función de la especie, así como de sus hábitos y dieta. Se ha encontrado que los mamíferos y las aves tienen un papel importante como prestadores de este servicio (Mendoza Sáenz y Horváth, 2013; Pacheco-Riaño, 2014). Como ejemplo podemos mencionar a la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) que se ha demostrado tiene un papel importante como dispersores. De acuerdo con Villalobos-Escalante *et alii* (2014), se demostró que las semillas de los frutos que formaban parte de la dieta de *U. cinereoargenteus* y pasaban por el tracto digestivo de los individuos tenían un aumento en el porcentaje de germinación en comparación con las semillas que no eran ingeridas. Esta evidencia permite mostrar la importancia de estas especies en sistemas agroforestales para el mantenimiento y conservación de los ecosistemas. Particularmente en los cafetales bajo sombra la dispersión de semillas juega un papel vital para mantener la diversidad y heterogeneidad característica de estos sistemas (Pacheco-Riaño, 2014).

### Ciclaje de nutrientes

Otro servicio de vital importancia que provee la fauna silvestre es la reincorporación (ciclaje) de nutrientes al suelo. Los mamíferos juegan un papel clave en el ciclaje de nutrientes, principalmente relacionados con la dieta. Tal es el caso de las especies carroñeras, en donde podemos encontrar a algunos carnívoros o marsupiales, que se alimentan de animales muertos, reduciendo el material en descomposición previniendo también la difusión de enfermedades (Rumiz, 2010). Especies de mamíferos con diferentes hábitos también aportan al ciclaje de nutrientes al alimentarse de diversas especies y defecar tanto en el suelo como en el agua, en ambos casos se enriquecen los sustratos con materia orgánica (Rumiz, 2010).

A pesar de que la dieta es un factor dominante en la contribución a este servicio, los hábitos de algunas especies también favorecen el ciclaje de nutrientes. Tal es el caso de especies como los armadillos o las tuzas, que remueven el suelo de manera que se incorpore la materia orgánica, se afloje el suelo

para evitar compactación del mismo y se airea el suelo para que permanezca sano para los microorganismos que viven en él (Rumiz, 2010). No sólo los mamíferos favorecen al ciclaje de nutrientes, sino especies de todos los grupos taxonómicos como anfibios, reptiles (Valencia-Aguilar *et alii*, 2013) y aves (Pacheco-Riaño, 2014). Estos efectos en el ciclaje de nutrientes no han sido evaluados específicamente en los cafetales bajo sombra, sin embargo, las especies que proveen estos servicios están registradas en la mayoría de los cafetales.

### **Control de la cubierta vegetal**

El control de la cubierta vegetal es un servicio ecosistémico que está estrechamente relacionado con la dispersión de semillas, solo que en este caso se considera a las especies que debido a sus hábitos tienen un efecto sobre la composición de las especies vegetales. La depredación o destrucción de semillas o plántulas por parte de la fauna silvestre pueden modificar la cubierta vegetal. Especies como venados o pecaríes, que podemos encontrar en los cafetales bajo sombra, pueden destruir plántulas o semillas recién dispersadas cuando pasan por diferentes áreas ya sea aplastadas o depredadas (Beck, 2005; Rumiz, 2010).

La cubierta vegetal también puede modificarse con la destrucción de plántulas. Estas pueden ser destruidas cuando las especies remueven el suelo al excavar, como los pecaríes que revuelven el suelo para crear revolcaderos o buscar raíces e insectos (Beck, 2005). Esto modifica la abundancia y densidad de especies, cambiando la composición de los sistemas. Del mismo modo, herbívoros como los venados, controlan la densidad de malezas y especies en los ecosistemas, favoreciendo también la sucesión y el recambio de especies vegetales (Burns *et alii*, 2009).

### **Provisión de hábitat**

Existen especies que generan espacios para que puedan albergarse diferentes especies, a estas se les conoce como ingenieros de los ecosistemas. Este es un servicio importante ya que, al modificar espacios, se favorece a la diversidad de especies lo cual tendrá también un beneficio sobre los sistemas, en este caso sobre los cafetales bajo sombra. Los ingenieros de los ecosistemas regulan de manera directa o indirecta la disponibilidad de recursos para otras especies. Un claro ejemplo son especies que construyen madrigueras, en este caso, cuando estas son abandonadas, pasan a ser utilizadas por otras especies de pequeños mamíferos, reptiles e incluso algunas aves (Rumiz, 2010).

### **Servicios culturales (Belleza estética/Valores espirituales y religiosos)**

Este servicio puede ser uno de los más complejos, tanto de categorizar como de conceptualizar por su carácter intangible. Sin embargo, es uno de los servicios que podemos encontrar en los cafetales bajo sombra y que provee la fauna silvestre. Hay especies dentro de los cafetales bajo sombra que poseen un valor étnico y cultural para las personas de la región y que pueden ser un punto clave para la protección de estos sistemas. Se pueden encontrar especies carismáticas que generan un valor estético como algunos mamíferos o aves como: venados, tejones, felinos grandes, entre otros (García-Flores *et alii*, 2021). También podemos encontrar especies que son apreciadas por su valor religioso y cultural, ya sea porque son de buen augurio o que curen alguna enfermedad, como algunas serpientes (Balderas-Valdivia *et alii*, 2021).

Dentro de los servicios culturales también se considera la educación ambiental, el ecoturismo y las especies que se encuentren dentro de algún estatus de conservación legal. Por lo tanto, mientras mayor es la diversidad mayor provecho se puede sacar en el sentido de la percepción del ser humano. Sin duda, cuantificar estos servicios ecosistémicos es bastante complicado, pero lo importante es la comprensión de que la fauna silvestre dentro de sistemas agroforestales como los cafetales bajo sombra permiten incentivar a la protección de los mismos

### **ESTUDIO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN CAFETALES BAJO SOMBRA DE MÉXICO**

Los estudios de los servicios ecosistémicos en los sistemas cafetaleros es un tema que ha ido en aumento debido a la importancia que tienen, no solo económicamente, sino también biológicamente. Sin embargo, en México son pocos los estudios enfocados en la relación de los servicios ecosistémicos con la fauna silvestre. La mayoría de los estudios están centrados en los servicios ecosistémicos asociados con los estratos vegetales como la cantidad de carbono que puede almacenar un cafetal bajo sombra en comparación con sistemas más perturbados (Valdés-Velarde *et alii*, 2022). Otros trabajos se enfocan principalmente sobre el beneficio económico que tienen sistemas como los cafetales bajo sombra sobre los cultivos de café, lo cual se ve reflejado en la producción y finalmente en la economía (Villarreyña *et alii*, 2020). Por otra parte, hay trabajos que hablan de los beneficios que tienen las interacciones de la vida silvestre sobre los servicios ecosistémicos y viceversa; sin embargo, estos están enfocados en artrópodos, como las

hormigas (Perfecto *et alii*, 2010).

Esto nos permite vislumbrar una carencia sobre el conocimiento de los servicios ecosistémicos que provee la fauna y como está también se ve beneficiada. La mayoría de los estudios en sistemas cafetaleros que evalúen los servicios ecosistémicos se han realizado en América del Sur, en países productores de café como Colombia (Chait, 2015), Costa Rica (Cerdán, 2007) y República Dominicana (Zabala, 2023). Entender la importancia de conocer los servicios ecosistémicos que aportan estos sistemas permitirá crear estrategia de protección y conservación a los agroecosistemas, como los cafetales bajo sombra, en donde se verá beneficiado tanto el sector social como el ecológico.

Dentro de los estudios realizados en México podemos encontrar algunos centrados en los servicios ecosistémicos de provisión de recursos maderables de los cafetales bajo sombra o el almacenamiento de carbono (Marroquín *et alii*, 2024). Uno de los trabajos recientes de servicios ecosistémicos en este tipo de agroecosistema fue en Oaxaca, en donde se habla del pago de los servicios ambientales que proporcionan los cafetales bajo sombra, sin embargo, este se centra en la biodiversidad arbórea (Rico y Altamirano, 2019).

## CONCLUSIONES

Los cafetales bajo sombra son sistemas complejos y heterogéneos que pueden aportar beneficios no solo a los productores de café, sino también generar beneficios a la fauna silvestre que habita en estos. En este sentido, entender la sombra protectora de estos agroecosistemas sobre la fauna silvestre nos permite comprender la necesidad de fomentar la aplicación de los conocimientos biológicos en los sistemas agrícolas, los cuales siguen en aumento.

Los agroecosistemas proveen servicios ecosistémicos de los cuales se benefician los humanos, ya sea de manera tangible o intangible. Sin embargo, estos servicios ecosistémicos se mantienen a su vez por una serie de factores que abarcan desde la fauna, hasta procesos más complejos de tipo funcional propios del sistema como el ciclaje de nutrientes, la fertilización natural del suelo, regulación del clima (Polania *et alii*, 2011) los cuales, sin una correcta protección, pueden ser desestabilizados y causar como consecuencia la pérdida de estos servicios.

Las evaluaciones de los servicios ecosistémicos aún están enfocadas en su mayoría a los estratos vegetales y su aportación a los ecosistemas. Es importante fortalecer el conocimiento sobre la fauna silvestre, ya que juega un papel crucial en la

conservación y el funcionamiento de los servicios ecosistémicos dentro de los agroecosistemas, particularmente en los cafetales bajo sombra, ya que estos mantienen una estructura similar a la matriz original y representan un mercado de producción importante en México.

## LITERATURA CITADA

- Andrade F., 2016. *Los desafíos de la agricultura*. INTA, FCA UNMP, CONICET, IPNI. Ediciones International Plant Nutrition Institute. 135 pp.
- Astiazaran A. & Gallina S., 2018. Los mamíferos del dosel: ¿Quiénes son y que hacen?, un ejemplo en Veracruz. *Biología y Sociedad*, 1(1):39-46.
- Balderas-Valdivia C.J., González-Hernández A. & Leyte-Manrique A., 2021. Servicios ecosistémicos de reptiles venenosos en el trópico seco. *Herpetología Mexicana*, 1(1):19-38.
- Bartra A., Cobo R., Meza M. & Paz L., 2003. *Sombra y algo más: Hacia un café sustentable mexicano*. Instituto de Estudios para el Desarrollo Rural Maya, AC. Instituto Maya, México. 61 pp.
- Beck H., 2005. Seed predation and dispersal by peccaries throughout the Neotropics and its consequences: a review and synthesis, en: Forget P.M., Lambert J.E., Hulme P.E. & Vander Wall S.B. (eds.). *Seed fate: predation, dispersal, and seedling establishment*. CABI Publishing, Wallingford, UK: 77-115.
- Beer J., Harvey C.A., Ibrahim M.A., Harmand J.M., Somarriba E. & Jiménez Otárola F., 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-38): 80-87.
- Beer J., Muschler R., Kass D. & Somarriba E., 1997. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry systems*, 38: 139-164.
- Burns C.E., Collins S.L. & Smith M.D., 2009. Plant community response to loss of large herbivores: comparing consequences in a South African and a North American grassland. *Biodiversity and Conservation*, 18: 2327-2342.
- Casanova-Lugo F., Ramírez-Avilés L., Parsons D., Caamal-Maldonado A., Piñeiro-Vázquez, A.T. & Díaz-Echeverría V., 2016. Environmental services from tropical agroforestry systems. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(3): 269-284.
- Cerdán Cabrera, C.R. 2007. Conocimiento local sobre servicios ecosistémicos de cafeticultores del Corredor Biológico Volcán Central Talamanca, Costa Rica. CATIE, Turrialba, CR. Tesis de Maestría: 81 pp.
- Chain-Guadarrama A., Virginio Filho M. & Martínez-Salinas A., 2021. Conservación de aves, abejas y los servicios ecosistémicos que estas prestan a la producción de café: Guía de buenas prácticas. Costa Rica. CATIE, Turrialba, CR. Serie Técnica. Manual Técnico: 47 pp.
- Chait G. 2015. Café en Colombia: servicios ecosistémicos, conservación de la biodiversidad. *Sistemas agroforestales, funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Turrialba: CATIE, 349-364.
- Firbank L.G., Petit S., Smart S., Blain A. & Fuller R.J., 2008. Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492): 777-787.
- Franqui R.A. & Medina G.S., 2003. La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari): Biología y aspectos básicos de control. *Entomología asociada Universidad de Puerto Rico, estación experimental agrícola, departamento de producción de cultivos, Río Piedras, Puerto Rico*, 1-11.
- García-Flores A., Valle-Marquina R., Monroy-Martínez R., Sánchez S.B. & Pino-Moreno J.M., 2021. Estudio etnozoológico y valor nutricional del venado cola blanca *Odocoileus virginianus* en la comunidad de Pitzotlán, Tepalcingo, Morelos, México. *Caldasia*, 43(1): 105-116.

- Guhl A., 2009. Café, bosques y certificación agrícola en Aratoca, Santander. *Revista de Estudios Sociales*, 32:114-125.
- Harvey C.A., Alpizar F., Chacón M. & Madrigal R., 2005. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. Mesoamerican & Caribbean Region, Conservation Science Program. The Nature Conservancy (TNC), San José, Costa Rica.
- Hernández-Martínez G. 2008. Clasificación agroecológica, en: Manson R.H., Hernández-Ortiz V., Gallina S. & Mehlreter K. (eds.). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*, Instituto de Ecología A.C. (INECOL), Xalapa, Veracruz: 15-34.
- Jaramillo A. & Gómez L., 1989. Microclima en cafetales a libre exposición solar bajo sombrío. *CENICAFE*, 40(3):65-79.
- Jha S., Bacon C.M., Philpott S.M., Ernesto Méndez V., Läderach P. & Rice R.A., 2014. Shade coffee: update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64(5): 416-428.
- Kandus P., Morandera N. & Schivo F., 2010. Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales del Delta del Paraná. *Wetlands International: Fundación Humedales*, Buenos Aires, Argentina: 32.
- López-Flores A.I., Rodríguez-Flores C.I., del Coro Arizmendi M., Rosas-Guerrero V. & Almazán-Núñez R.C., 2024. Shade coffee plantations favor specialization, decrease robustness and increase foraging in hummingbird-plant networks. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 22(1): 24-34.
- Manson R.H., 2008. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación*. Instituto Nacional de Ecología A.C. (INECOL), México: 348 pp.
- Marroquín Morales P., Jiménez Pérez J., Yerena Yamalle J.I. & Sandoval García R., 2024. Almacenamiento de carbono en *Coffea arabica* L. en la Sierra Madre de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 15(2).
- Martínez J.P., Lozada L.O., Sosa V.J., Vargas C.M. & Antonio J.D., 2023. Actividad diaria de mamíferos del dosel amenazados en un área natural protegida privada del sureste tropical de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94(2): 11.
- Martínez-Salinas A., DeClerck F., Vierling K., Vierling L., Legal L., Vélchez-Mendoza S. & Avelino J., 2016. Bird functional diversity supports pest control services in a Costa Rican coffee farm. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 235: 277-288.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment), 2003. *Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Island Press, Washington: 245.
- Mendoza Sáenz V.H. & Horváth A., 2013. Roedores y murciélagos en la zona cafetalera del Volcán Tacaná, Chiapas, México. *Therya*, 4(2): 409-423.
- Moguel P. & Toledo V.M., 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation biology*, 13(1): 11-21.
- Montagnini F., Cusack D., Petit B. & Kanninen M., 2004. Environmental services of native tree plantations and agroforestry systems in Central America. *Journal of Sustainable Forestry*, 21(1): 51-67.
- Muñoz-Espinosa M., Artieda-Rojas J., Espinoza-Vaca S., Curay-Quispe S., Pérez-Salinas M., Núñez-Torres O., Mera-Andrade R., Zurita-Vásquez H., Velástegui-Espín G., Pomboza-Tamaquiza P., Carrasco-Silva A. & Barros-Rodríguez M., 2016. Sustainable farms: Integration of agricultural systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(2):93-99.
- Nava-López M., Jujnovsky J., Salinas-Galicia R., Álvarez-Sánchez J. & Almeida-Leñero L., 2009. Servicios ecosistémicos. *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*. Libro conmemorativo del 25: 1983-2008.
- Ortega G. 2009. Agroecología vs. Agricultura convencional. *Documento de trabajo*, 128b.
- Pacheco-Riño L.C., 2014. Las comunidades de aves, sus grupos funcionales y servicios ecosistémicos en un paisaje cafetero colombiano. *Ornitología Colombiana*, (14).
- Paredes M.C., Camargo García J.C., Muñoz López J. & Arango Arango A.M., 2022. Avifauna, agroecosistemas cafeteros y servicios ecosistémicos desde la percepción de los productores. *Luna Azul*, (55): 56-79.
- Perfecto I., Vandermeer J. & Philpott S.M., 2010. Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico autónomo. *Agroecología*, 5: 41-51.
- Perfecto I., Rice R.A., Greenberg R. & Van der Voort M.E., 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8): 598-608.
- Polania C., Pla L. & Casanoves F., 2011. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos. *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Pomboza-Tamaquiza P., Carrasco-Silva A., Barros-Rodríguez M., Muñoz-Espinosa M., Artieda-Rojas J., Espinoza-Vaca S., Curay-Quispe S., Pérez-Salinas M., Núñez-Torres O., Mera-Andrade R., Zurita-Vásquez H., Velástegui-Espín G., Pomboza-Tamaquiza P., Carrasco-Silva A. & Velástegui-Espín G., 2016. Granjas sostenibles: integración de sistemas agropecuarios. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19(2): 93-99.
- Ramírez-Bautista A., Berriozabal-Islas C., Hernández-Salinas U., Díaz-Marín C.A., Sánchez-González A. & Moreno-Lara I., 2024. Los secretos del bosque tropical seco: cómo viven los anfibios y reptiles en el Pacífico mexicano. *Herpetología Mexicana*, 8: 1-12.
- Rico B.C. & Altamirano G.N., 2019. Pago por servicios hidrológicos y biodiversidad al café de sombra para la conservación del bosque de niebla en la región Loxicha, Oaxaca. Estudios recientes sobre economía ambiental y agrícola en México, 107.
- Rico-Gray V., 2007. El análisis de redes complejas y la conservación de la biodiversidad. *Cuadernos de biodiversidad*, (22):3-6.
- Rudel T.K., Defries R., Asner G.P. & Laurance W.F., 2009. Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. *Conservation Biology*, 23(6): 1396-1405.
- Ruelas-Monjardín L.C., Nava-Tablada M.E., Cervantes J. & Barradas V.L., 2014. Importancia ambiental de los agroecosistemas cafetaleros bajo sombra en la zona central montañosa del estado de Veracruz, México. *Madera y bosques*, 20(3): 27-40.
- Rumiz D., 2010. Roles ecológicos de los mamíferos medianos y grandes, en: Wallace R., Gómez H., Porcel Z. & Rumiz D. (eds.). *Distribución, ecología y conservación de los mamíferos medianos y grandes de Bolivia*. Centro de Ecología Difusión, Fundación Simón I. Patiño: 53-73.
- SIAP, 2024. Panorama Agroalimentario 2018-2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
- Sánchez Brenes R.J., 2022. Funciones ecosistémicas de mamíferos silvestres en un agroecosistema con café en Rincón de Mora, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. Tesis de Doctorado: 130p.
- Sollmann R., Furtado M.M., Hofer H., Jácomo A.T., Tôrres N.M. & Silveira L., 2012. Using occupancy models to investigate space partitioning between two sympatric large predators, the jaguar and puma in central Brazil. *Mammalian Biology*, 77(1): 41-46.
- Soto-Pinto L., Villalvazo-López V., Jiménez-Ferrer G., Ramírez-Marcial N., Montoya G. & Sinclair F.L., 2007. The role of local knowledge in determining shade composition of multistrata coffee systems in Chiapas, Mexico. *Biodiversity and conservation*, 16: 419-436.
- Valdés-Velarde E., Vázquez-Domínguez L.P., Tinoco-Rueda J.Á., Sánchez-Hernández R., Salcedo-Pérez E. & Lagunes-Fortiz E., 2022. Servicio ecosistémico de carbono almacenado en cafetales bajo sombra en sistema

- agroforestal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(28): 287-297.
- Valencia-Aguilar A., Cortés-Gómez A.M. & Ruiz-Agudelo C.A., 2013. Ecosystem services provided by amphibians and reptiles in neotropical ecosystems. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 9(3): 257-272.
- Vega F.E., Infante F., Castillo A. & Jaramillo J., 2009. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. *Terrestrial Arthropod Reviews*, 2:129-147.
- Villalobos Escalante A., Buenrostro-Silva A. & Sánchez-de la Vega G., 2014. Dieta de la zorra gris *Urocyon cinereoargenteus* y su contribución a la dispersión de semillas en la costa de Oaxaca, México. *Therya*, 5(1):355-363.
- Villarreyna R.A., Avelino J. & Cerda R., 2020. Adaptación basada en ecosistemas: efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 499-516.
- Zabala García C.A., 2023. Valoración económica de servicios ecosistémicos de cafetales en la provincia San Juan, República Dominicana. CATIE, Turrialba, CR. Tesis de Maestría: 57 pp.

Recibido: 11 de enero de 2025  
Aceptado: 15 de mayo de 2025