



Módulo 3

La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura

M. Ruth Martínez-Rodríguez • Bárbara Viguera • Camila I. Donatti • Celia A. Harvey • Francisco Alpizar

CONSERVACIÓN
INTERNACIONAL



CATIE

Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Módulo 3

La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura



M. Ruth Martínez-Rodríguez • Bárbara Viguera • Camila I. Donatti • Celia A. Harvey • Francisco Alpizar

Proyecto CASCADA
Conservación Internacional (CI)
Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (CATIE)
División de Investigación y Desarrollo
Turrialba, Costa Rica, 2017

Créditos

Este material puede ser reproducido total o parcialmente con fines didácticos y como apoyo a actividades de capacitación sin fines de lucro, sin previa autorización, siempre y cuando se reconozca la autoría del mismo.

El presente manual se elaboró en el marco de fortalecimiento de capacidades técnicas en materia de Adaptación basada en Ecosistemas para la agricultura del Proyecto CASCADA: Adaptación Basada en Ecosistemas para pequeños productores de subsistencia y café en Centroamérica (CI-CATIE). CASCADA forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB) apoya esta iniciativa con base en la decisión adoptada por el Bundestag de la República de Alemania.

Más información sobre CASCADA en: www.conservation.org/cascade-espanol

Revisores

El Proyecto CASCADA agradece la revisión de este material, así como las sugerencias y comentarios realizados en el contenido a las siguientes personas:

Jorge Arce (Profesor de cultivos tropicales – Universidad EARTH, Costa Rica)

Jacques Avelino (Investigador-CIRAD / IICA-PROMECAFE / CATIE, Costa Rica)

Guillermo Canet (Consultor-Oficina de IICA, Costa Rica)

Julio López (Director-Oficina Nacional de CATIE, Guatemala)

Luis Guillermo Ramírez (Profesor de sistemas cafetaleros-Universidad EARTH y Universidad de Costa Rica)

Pablo Ruiz (Coordinador Coffee and Climate, Fundación Hanns R. Neumann Stiftung, Guatemala)

Ana Lucía Solano (C. Estudios Ambientales y de Biodiversidad, Universidad Del Valle, Guatemala)

Carlos Soto (Consultor independiente, Costa Rica)

Ilustraciones y diagramación

Olman Bolaños Vargas

Cita recomendada

Martínez-Rodríguez, M.R., Viguera, B., Donatti, C.I., Harvey, C.A. y Alpízar, F. 2017. La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura. Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). 40 páginas.

Presentación general

Este manual forma parte de los materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas en materia de adaptación de la agricultura al cambio climático del Proyecto CASCADA. Los materiales, que constan de 4 módulos de capacitación, tienen como objetivo diseminar información práctica de la aplicación del concepto de Adaptación basada en Ecosistemas para extensionistas. Para ello, los módulos introducen y contextualizan conceptos relacionados con el cambio climático y la vulnerabilidad frente a los impactos del clima, relacionan estos conceptos con sus consecuencias en la agricultura, y muestran posibles soluciones para la agricultura de pequeña escala a través de la Adaptación basada en Ecosistemas.

Este manual constituye una herramienta para actualizar los conocimientos de los extensionistas en materia de cambio climático y adaptación. Esta iniciativa surge de la imperiosa necesidad de adaptarse al cambio climático, especialmente la agricultura de pequeña escala en la región Centroamericana. Este material puede reproducirse para ser utilizado en actividades de extensión con productores y diseminación a nivel técnico. Los objetivos específicos de cada tema se detallan en cada módulo.

Módulo I	El clima, el cambio climático, la vulnerabilidad y acciones contra el cambio climático: Conceptos básicos.
Módulo II	Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación.
Módulo III	La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura
	1. ¿Qué son los ecosistemas? 2. ¿Qué son los servicios ecosistémicos? 3. PSA: El Pago por Servicios Ambientales. 4. La dependencia de la agricultura de los servicios ecosistémicos 5. Cómo contribuye el buen manejo agrícola los servicios ecosistémicos, en el contexto de la resiliencia climática? 6. Mensajes clave
Módulo IV	Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)

Indicaciones para la comprensión del manual

En el siguiente módulo encontrará una serie de indicadores y marcas que le permitirán profundizar en el conocimiento de los temas tratados:

plantaciones⁴⁵

Los números en superíndice quieren decir que la idea que se reproduce en el texto procede de una fuente externa, científica o técnica. Al final del manual, en la bibliografía, encontrará la referencia a cada uno de estos documentos consultados.

antropogénico

Las palabras resaltadas en negrita en el texto son conceptos que, por ser poco conocidos o novedoso, se detallan en el glosario que se encuentra al final de cada módulo.

Cuadro 3.2.

Los cuadros que aparecen en el texto están ampliando el conocimiento en algún tema específico, y también aportan casos de estudio y ejemplos.

En el año 2013...

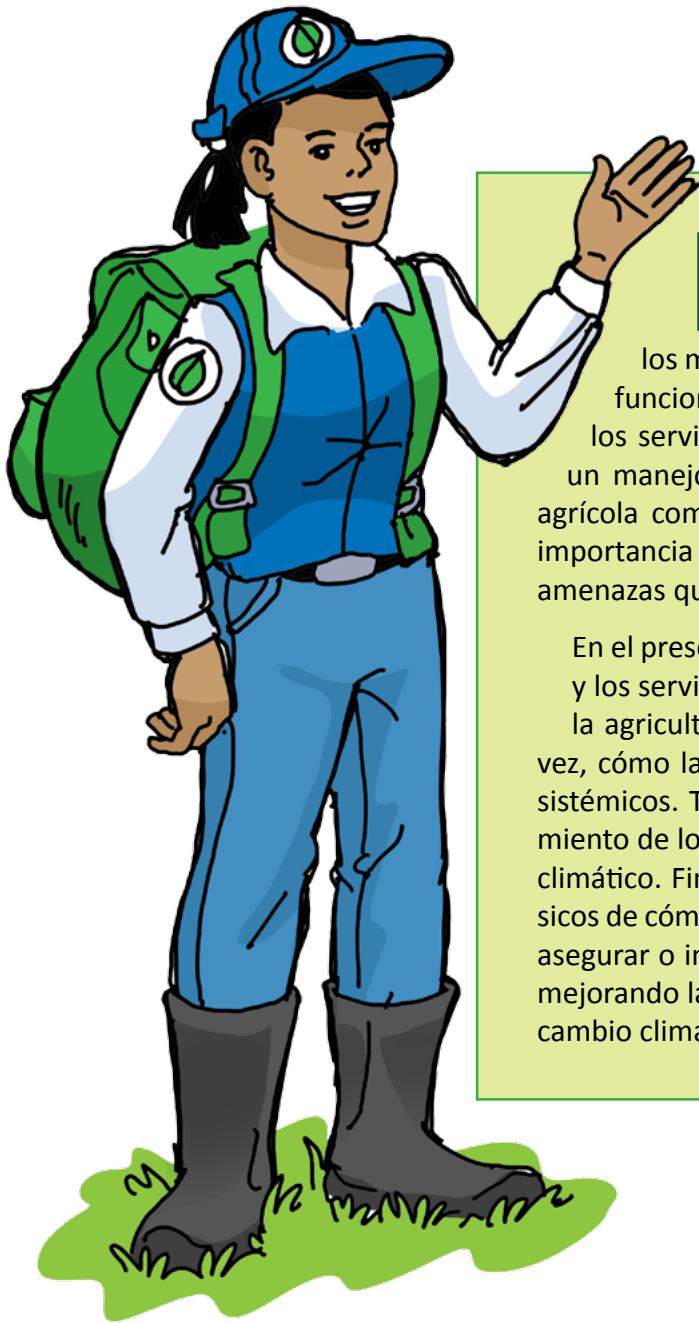
En todo el manual encontrarán ejemplos y casos específicos que ilustran los contenidos del módulo, para la realidad de Centroamérica y los sistemas de cultivo de café y granos básicos.

Instituciones involucradas

El Proyecto CASCADA surge del esfuerzo conjunto realizado por Conservación Internacional (CI) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.

Conservación Internacional es una organización sin fines de lucro fundada en 1987 con oficinas y socios en más de 30 países. La misión de CI: “Apoyándose en una base científica sólida, cooperación y demostración de campo CI empodera a las sociedades para que cuiden, de manera responsable y sostenible, la naturaleza, nuestra biodiversidad global y el bienestar de la humanidad.”



El bienestar y los medios de vida de los seres humanos dependen de los ecosistemas del planeta, tanto de aquellos naturales como de los manejados por el ser humano. Entender el intrincado funcionamiento de los ecosistemas, agroecosistemas y de los servicios que nos brindan es necesario para promover un manejo sostenible que favorezca tanto la productividad agrícola como la resiliencia; esta comprensión es de especial importancia en el panorama actual de cambio climático y las amenazas que representa para la producción agrícola.

En el presente módulo estudiaremos qué son los ecosistemas y los servicios que nos brindan. También exploraremos cómo la agricultura depende de los servicios ecosistémicos, y a la vez, cómo la agricultura impacta la provisión de servicios ecosistémicos. También abordaremos la importancia del mantenimiento de los servicios ecosistémicos en el contexto del cambio climático. Finalmente, veremos unos conceptos y ejemplos básicos de cómo los sistemas agrícolas pueden ser manejados para asegurar o incrementar la provisión de servicios ecosistémicos, mejorando la resiliencia de los sistemas agropecuarios frente al cambio climático.

Contenido

1. ¿Qué son los ecosistemas?	7
Ecosistemas vs. agroecosistemas	8
2. ¿Qué son los servicios ecosistémicos?	10
1. Servicios de aprovisionamiento	10
2. Servicios de regulación	11
3. Servicios culturales	13
4. Servicios de apoyo o soporte	14
3. PSA: El Pago por Servicios Ambientales	16
¿Qué es el Pago por Servicios Ambientales?	16
4. La dependencia de la agricultura de los servicios ecosistémicos	19
Servicios ecosistémicos importantes para la agricultura	19
1. Polinización	19
2. Servicio de Control Natural de Plagas	20
3. Agua (provisión y regulación)	21
4. Mantenimiento del suelo	22
5. ¿Cómo contribuye el buen manejo agrícola los servicios ecosistémicos, en el contexto de la resiliencia climática?	24
1. Buen manejo y plagas/enfermedades	25
2. Buen manejo y suelo	27
3. Buen manejo y agua	29
4. Buenas prácticas y amortiguación de eventos extremos	30
6. Mensajes clave	34
7. Glosario	35
8. Referencias	37

¿Qué son los ecosistemas?

El término “ecosistema” se refiere a un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y microorganismos y de su medio inerte (el aire, el agua, el suelo) que interactúan como una **unidad funcional**⁹. Un ecosistema comprende todos los seres vivos (animales, plantas, bacterias, hongos, etc.) llamados factores bióticos, y las interacciones entre sí (ej., la competencia entre organismos, la depredación, o la simbiosis, entre otras posibilidades). También abarca su ambiente no vivo, (el clima, el suelo, el sol, la atmósfera)²⁶ llamados factores abióticos, las relaciones de los factores bióticos con los abióticos (ej., la relación de las plantas con el suelo), y entre factores abióticos (ej., la relación entre la temperatura y la humedad del suelo). Existen muchos tipos de ecosistemas diferentes, por ejemplo, los bosques tropicales son una clase de ecosistema que abunda en Centroamérica, pero otros sitios son ricos en ecosistemas de desiertos o sabanas, con otras características muy diferentes. El bienestar y el desarrollo de los seres humanos dependen en su totalidad de los ecosistemas del planeta³⁷.

Los ecosistemas pueden ser estudiados a distintos niveles, es por tanto necesario que tengamos claros sus niveles de organización²⁶:

- **Individuo:** se refiere a un solo ser vivo, por ejemplo una sola planta o un solo animal independiente de otros. A este nivel podemos estudiar la supervivencia y el comportamiento del individuo en el ambiente;
- **Población:** es un grupo de individuos de la misma especie que ocupan un mismo sitio, por ejemplo un grupo de hormigas que viven en el mismo lugar. A este nivel podríamos estudiar la abundancia y el crecimiento poblacional. En experimentación agronómica, los principios de población han sido usados para determinar las densidades ideales en los cultivos;
- **Comunidad:** es una mezcla de distintas poblaciones que vive en un mismo sitio. A este nivel podemos observar las interacciones de organismos entre sí, las cuales afectan la distribución de distintas especies en la comunidad. La competencia entre un cultivo y las malezas, o entre predadores y sus presas es un ejemplo de interacciones a este nivel;



Un sistema ribereño localizado en un bosque es un ejemplo de ecosistema natural.



La competencia entre un cultivo y las malezas es un ejemplo de interacciones a nivel de comunidad

- **Ecosistema:** nivel más inclusivo que incluye todos los factores bióticos y abióticos en un área determinada, y presenta relaciones complejas entre sus componentes. A nivel de ecosistema nos podría interesar cómo la temperatura, la radiación o el agua influyen en todos los componentes.

De esta manera, una manera gráfica de recordar estos conceptos lo conceptualizamos abajo, siendo el ecosistema el nivel más inclusivo.



Ecosistemas vs. Agroecosistemas

Como vemos, los ecosistemas son conjuntos que están formados por organismos vivos, que interactúan entre ellos y con el medio físico donde viven. El término “ecosistema” abarca tanto los ecosistemas naturales como aquellos manejados por el ser humano. Los ecosistemas naturales contienen especies que han evolucionado para vivir en un sitio dado. Entre los ecosistemas naturales están los bosques tropicales o la tundra en las montañas altas. Por otro lado, los agroecosistemas son ecosistemas que han sido alterados artificialmente por los seres humanos para satisfacer sus necesidades, tales como establecer una producción agrícola o pecuaria²⁶, usualmente con especies que no estaban presentes en el ecosistema originalmente. Desde hace miles de años los seres humanos hemos transformado los ecosistemas naturales en campos de cultivo, plantaciones de cultivos perennes, fincas ganaderas, plantaciones forestales, producción acuícola y otros sistemas productivos, en general con una o pocas especies de interés. A través de siglos, hemos **domesticado** las especies que consideramos más útiles, seleccionando variedades agrícolas y pecuarias para obtener las características que más nos convienen para la producción de frutos, hortalizas, leche, carne, y otros bienes. Esta selección y manejo tiene consecuencias en las características de estos ecosistemas.

Los ecosistemas naturales tienden a tener más **nichos** para diversas especies, mientras que los agroecosistemas, son más simples, tienen menos diversidad de especies. Esta baja **diversidad genética** hace a los agroecosistemas más vulnerables a los brotes de enfermedades³⁴ porque hay menos interacciones entre especies para poder reducir las poblaciones de insectos u otros patógenos nocivos para un cultivo. Sin embargo, dependiendo del manejo que se le dé al agroecosistema, el ser humano puede agregar especies para controlar las poblaciones de plagas y enfermedades.

Otras características de los agroecosistemas que los hacen diferir de los ecosistemas naturales son las siguientes:

- A. No se **autorregulan**; se necesitan insumos tales como semillas para mantener la población de las plantas de nuestro interés, al contrario que en los ecosistemas naturales, donde los organismos existentes están presentes por selección y dispersión natural⁴¹.
- B. Usan insumos externos (como los fertilizantes y las enmiendas), y energía como la mano de obra que complementan la función natural del ecosistema para aumentar la productividad de los organismos de nuestro interés⁴¹.
- C. Requieren insumos tales como pesticidas o herbicidas para poder regular la población de plagas, enfermedades y malezas, debido a que los agroecosistemas convencionales son más simplificados y menos resilientes que los ecosistemas naturales²⁶.

Para una comparación resumida de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas, veamos la tabla 1.

Tabla I
**Comparación de características
entre los ecosistemas naturales y los agroecosistemas**

Adaptado de Karsten et al.³⁴

Característica	Ecosistema natural	Agroecosistema
Control humano	Bajo	Alto
Productividad neta	Media	Alta
Diversidad de especies y genética	Alta	Baja
Ciclos de nutrientes	Cerrados	Abiertos
Estabilidad (resiliencia)	Alta	Baja

En la tabla anterior vemos claramente como los seres humanos no manejamos los ecosistemas naturales, mientras que sí lo hacemos con los agroecosistemas. Al tomar decisiones sobre la productividad, por medio de la selección de especies y el uso de insumos, hacemos que los agroecosistemas sean más productivos. Por otra parte, los ciclos de nutrientes son abiertos en el agroecosistema porque tenemos un producto, la cosecha, que se está llevando consigo parte de los nutrientes. Por último, la resiliencia del ecosistema natural es mayor que en el agroecosistema porque hay mayor diversidad de especies y sus componentes están más equilibrados.

2. ¿Qué son los servicios ecosistémicos?

Todos los seres humanos dependemos de los beneficios que la naturaleza nos da, tanto de bienes como de funciones. A estos beneficios que las personas recibimos de los ecosistemas se les denomina “servicios de los ecosistemas” o “servicios ecosistémicos”³⁷. Los servicios ecosistémicos son la parte más importante del capital natural con que cuenta una comunidad. Los servicios ecosistémicos son esenciales para el ser humano, y funcionan de una manera tan complicada e interconectada entre sí que no pueden ser reemplazados por la tecnología¹¹.

Los servicios de los ecosistemas los podemos dividir en cuatro categorías principales: 1) servicios de aprovisionamiento, 2) servicios de regulación, 3) servicios culturales 4) servicios de apoyo⁵⁷:

1. Servicios de aprovisionamiento

Los servicios de aprovisionamiento son los recursos naturales, los bienes tangibles o materiales que provienen de los ecosistemas con beneficio directo para las personas. Estos servicios dan el sustento básico de la vida humana, y a menudo tienen valor monetario⁷.

Estos incluyen:

- a) **alimentos para el consumo humano**, estos alimentos usualmente vienen de agroecosistemas manejados (ej., maíz, arroz, carne, etc.), pero también pueden venir de los ecosistemas marinos o ribereños (peces, algas, camarones, mariscos), o de ecosistemas naturales como bosques (frutas silvestres, miel, hongos, etc.);
- b) **materia prima**, tal como materiales para construcción, leña, biocombustibles y aceites que vienen tanto de las plantas cultivadas en agroecosistemas como de plantas silvestres de los bosques;
- c) **medicinas** para el bienestar humano y animal por medio de las plantas, que pueden ser medicinales cultivadas, y otras sustancias (ej. miel, jalea real) con compuestos medicinales provenientes de ecosistemas naturales;



La cosecha de los productos agrícolas representa un servicio de aprovisionamiento.

d) el abastecimiento de agua, cuya cantidad y calidad está influenciada por la vegetación y los bosques aguas arriba.

Estos servicios de aprovisionamiento tienen un valor económico directo, pues es usualmente lo que vendemos como materia prima y alimento. Se calcula que todos los servicios de aprovisionamiento del mundo tienen un costo de \$2 117 millones de millones de dólares estadounidenses¹⁰. Este servicio juega un rol primordial en la seguridad alimentaria.

2. Servicios de regulación

Los servicios ecosistémicos de regulación son procesos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres humanos realizan sus actividades⁷.

Ejemplos de ellos son:

- a. La regulación del clima.** Los árboles reducen la temperatura local, tanto en agroecosistemas como en ecosistemas naturales: en los agroecosistemas con cobertura de árboles, como el café con sombra, las variaciones diarias de temperatura, humedad del aire y del suelo son menores que en los cafetales sin sombra³⁶.
- b. La regulación de la calidad del aire.** La vegetación, tanto en agroecosistemas como en ecosistemas naturales, juega un papel en la regulación de la calidad del aire convirtiendo el dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis: adicionalmente intercepta partículas contaminantes (polvo, ceniza, polen y humo) absorbiendo gases tóxicos.
- c. El secuestro y almacenamiento de carbono.** Los ecosistemas regulan el clima global secuestrando gases de efecto invernadero. A medida que la vegetación crece, remueve el dióxido de carbono de la atmósfera y lo almacena en su biomasa y también en el suelo, convirtiéndose en almacenajes o sumideros de carbono. Los ecosistemas terrestres acumulan tres veces más carbono (20% en la vegetación, 80% en el suelo) que el que se encuentra en forma gaseosa en la atmósfera^{31 en 49}. Las grandes reservas de carbono están en los bosques primarios. En los agroecosistemas, un ejemplo del secuestro de carbono lo vemos en los sistemas cafetaleros con sombra, que acumulan más carbono que las plantaciones a pleno sol, ya que son los árboles, y especialmente los árboles grandes, que almacenan más carbono^{31 en 49}. Además, la hojarasca permite una acumulación más intensa de carbono en el suelo⁴⁹.



El carbono que almacenan los suelos y los árboles en su tronco es un ejemplo de servicio de regulación.

- d. Moderación de los efectos de eventos extremos:** los riesgos naturales tales como inundaciones, tormentas, torrentes pueden ser amortiguados por los ecosistemas. Ejemplos de esta función en un ecosistema natural lo vemos en la amortiguación de inundaciones que brindan los manglares en las zonas

costeras, previniendo daños mayores. En los agroecosistemas, vemos un ejemplo en la resiliencia que proveyó el sistema Quesungual, un sistema agroforestal para granos básicos, ante el huracán Mitch ²⁴.

e. Tratamiento de aguas residuales: los humedales actúan como un filtro a través de la actividad de microorganismos en el suelo que descomponen desechos, de este modo se eliminan microbios que podrían acarrear enfermedades a los seres humanos y la fauna.

f. Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo: la vegetación de los ecosistemas, a través de la sujeción de las raíces en los taludes provee un sistema que evita la erosión. Ejemplos de la prevención de la erosión en los agroecosistemas, los vemos con el uso de sistemas de baja labranza en granos básicos, que permiten la protección del suelo²⁴, o de bajo uso de la maquinaria o exceso de carga animal⁷. También el uso de árboles en plantaciones permite la protección del suelo mediante la hojarasca⁴⁹. En cuanto al mantenimiento de la fertilidad, en los agroecosistemas manejados con prácticas agroforestales, a menudo se plantan árboles que aportan nitrógeno a través de su fijación y permiten mantener el reciclaje de este elemento en la plantación, extrayéndolo de las capas más profundas a través de las raíces de los árboles, y colocándolo en las capas superficiales del suelo por medio de la hojarasca.

g. Control biológico: los ecosistemas regulan las plagas y enfermedades, tanto de plantas, animales como de los humanos, por medio de ajustes natural a través de parásitos y depredadores naturales de las plagas. En los ecosistemas naturales, al ser más complejos y usualmente con mayor diversidad, hay más parásitos y depredadores disponibles para suprimir el crecimiento potencial de las poblaciones de plagas que en un agroecosistema. En los agroecosistemas, es posible tener mejor control biológico si el sistema está diversificado que si se maneja como un monocultivo. A medida que se incrementa la diversidad e plantas, la reducción de plagas alcanza un nivel óptimo. Algunos factores relacionados con la regulación de plagas en agroecosistemas diversificados incluyen: el incremento de la población de parasitoides y depredadores debido a una mayor disponibilidad de alimento alternativo y hábitat, la disminución en la colonización y reproducción de las plagas, y la inhibición de la alimentación mediante repelentes químicos de plantas no atractivas a las plagas, entre otros⁴⁰.

h. Polinización: el viento y también algunos insectos, aves, y mamíferos polinizan la vegetación, lo cual es esencial para que haya frutos y semillas posteriormente. Los ecosistemas naturales, tal como los bosques,

a menudo son el hogar de polinizadores. En bosques con suficientes abejas, se produce una mejor polinización que da lugar a una mejor regeneración de los árboles y una mejor conservación de la biodiversidad del bosque²². El bosque también provee hábitat a polinizadores en la agricultura; está comprobado que la cercanía de plantaciones de café a parches de bosque permite que hayan más polinizadores en los cafetales, subiendo el rendimiento del cultivo⁵¹.



La labor realizada por las abejas en la polinización es fundamental para la cosecha de muchos cultivos.

millones de dólares anuales en la producción agrícola⁸. De manera ilustrativa, puede calcularse el valor del servicio ecosistémico de forma indirecta calculando la pérdida asociada a la falta de ese servicio. Por

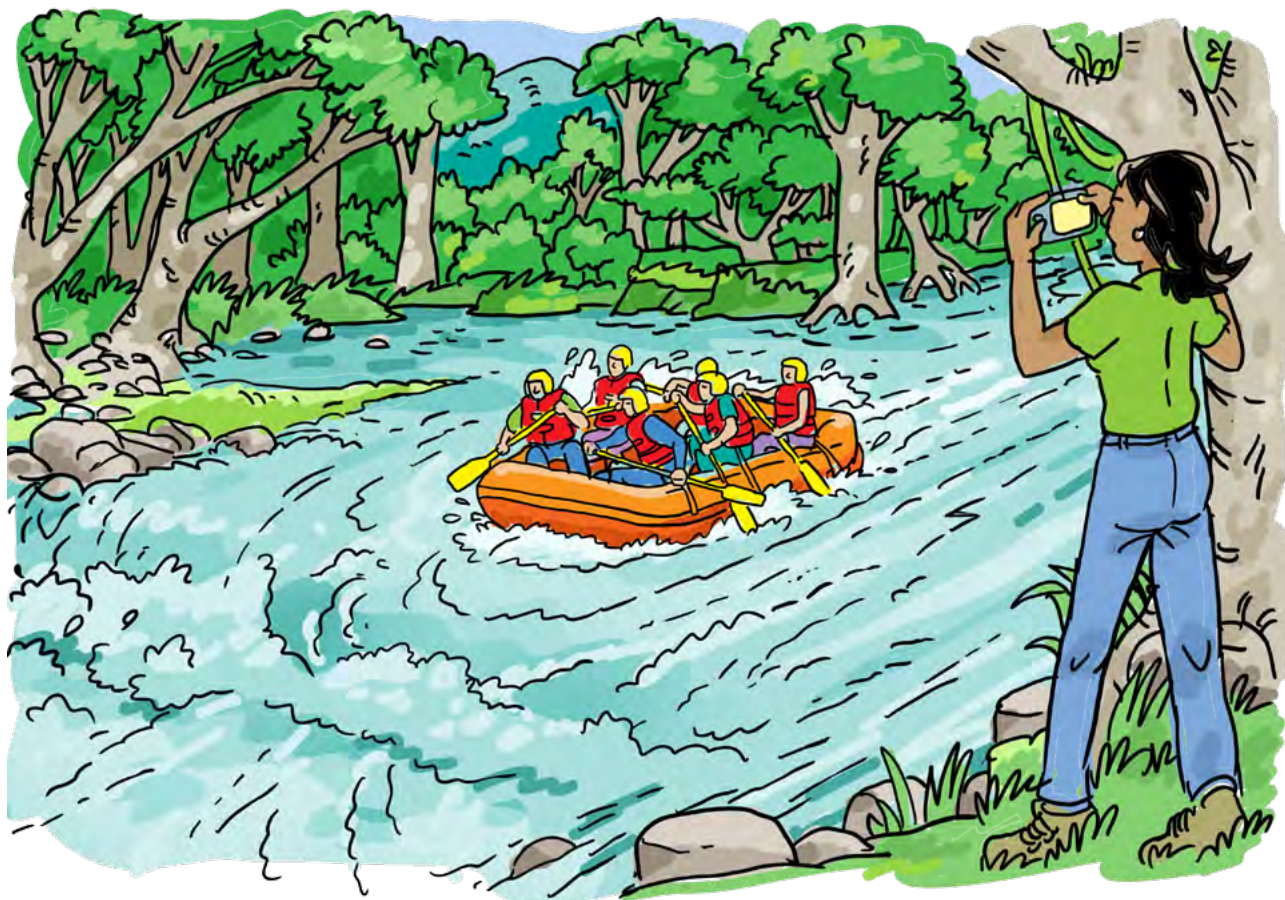
Debemos destacar el valor que tiene la polinización para la productividad de los agroecosistemas; se calcula que el 35% de los cultivos comerciales del mundo requieren este servicio³⁵, por lo que implica

ejemplo, la pérdida de los polinizadores naturales en el cultivo de la vainilla puede llegar a subir el costo de producción en 40%, ya que a falta de polinizadores, la polinización debe realizarse a mano⁶¹. Si tuviéramos que pagar de manera global por la polinización, el valor total de este servicio ecosistémico en todo el planeta es de \$117 mil millones de dólares estadounidenses al año. A pesar de que todas estas funciones son muy valiosas, usualmente no se les da **valor de mercado**.

3. Servicios culturales

Los servicios culturales de los ecosistemas son beneficios no materiales que las personas obtienen a través del enriquecimiento espiritual, la recreación y la apreciación de la belleza³⁷. Estos servicios dependen de las percepciones y los valores colectivos de los humanos acerca de los ecosistemas y de sus componentes. Estos servicios son el resultado de la evolución a lo largo del tiempo y del espacio de la relación entre los seres humanos y la naturaleza⁷. Aunque los servicios culturales no dan beneficios materiales directamente, son importantes para el desarrollo de nuestra vida en sociedad. Entre ellos encontramos:

- a. **Recreación, salud física y mental:** muchas de las actividades recreativas (como jugar fútbol, hacer caminatas, etc.) que desarrollamos las llevamos a cabo en espacios verdes, ya sean urbanos o rurales⁶. Es en estos sitios que aprovechamos para relajarnos y mantener la salud mental y física.
- b. **El turismo:** los ecosistemas dan lugar a diferentes tipos de actividades y momentos de ocio que se pueden ofrecer como servicios de turismo (por ejemplo, visitar playas, montañas, andar en bicicleta, etc), que constituyen una fuente importante de ingresos a las economías locales y de los países. Ejemplos de actividades turísticas que dependen de los servicios ecosistémicos naturales son el rafting o el canopy como turismo de aventura, y la observación de aves como turismo ecológico.



La belleza de los ecosistemas naturales fomenta la realización de actividades turísticas como el rafting o descenso de ríos.



Un paisaje natural o un paisaje modificado para la agricultura puede ser apreciado por su belleza y servir de inspiración.

En los agroecosistemas también tenemos ejemplos de turismo, ya que existen productores y empresas que han aprovechado la belleza natural de ciertas plantaciones para ofrecer actividades de ocio (ej. visitar una plantación de café cuando está en floración).

c. Apreciación estética e inspiración para el arte: la posibilidad de ver un sitio natural que consideramos hermoso, o escuchar el canto de las aves en un bosque natural, nos da inspiración e ideas para el arte, para la música, para nuestra cultura y vida diaria. En los agroecosistemas, podemos contemplar la belleza escénica de un paisaje sembrado cuando florece o cuando está lleno de frutas; podemos admirar también desde un mirador todo el paisaje con distintas prácticas agrícolas.

d. La experiencia espiritual y sentido de pertenencia: en algunos sitios encontramos que la gente considera sagradas ciertas montañas o ríos, y se les respeta como sitios religiosos, a menudo incluso siendo parte fundamental de rituales tales como peregrinaciones en ciertos momentos del año a grutas o ríos. Estos sitios son parte del encuentro comunitario. También encontramos el sentido de pertenencia y orgullo que pueda tener un bosque o un lago para la gente local, lugares con los que se identifican culturalmente. En los agroecosistemas, un ejemplo de servicio cultural es el valor de pertenencia y orgullo que le pueda dar un productor a su cafetal, o a su milpa, que pueden estar muy ligados a la historia de la comunidad y del productor.

4. Servicios de apoyo o soporte

Los servicios de apoyo son aquellos procesos ecológicos básicos que mantienen y aseguran el mantenimiento adecuado de los ecosistemas, permitiendo los flujos de servicios de provisión, de regulación y culturales⁷.

Estos son fundamentales para que la naturaleza siga su curso. Ejemplos de ellos son:

a. Hábitat de especies: se refiere a la provisión de las condiciones que una planta o animal pueda necesitar para vivir y reproducirse, como alimento, agua y espacio. Los ecosistemas son importantes para conservar la biodiversidad, la cual es fundamental para la producción agrícola. Los bosques naturales pueden dar hábitat a polinizadores y a los enemigos naturales de las plagas. Según el manejo que el productor le dé a un su plantación, por ejemplo, con pocos agroquímicos, y de manera diversificada, puede convertir su finca en un agroecosistema que permite que hayan aves y otras especies en su finca.

b. El mantenimiento de la diversidad genética: se refiere al sostenimiento de la variedad de genes a lo interno y externo de las poblaciones. En el caso de la agricultura, la existencia de esta variabilidad es fundamental para que se desarrollen variedades adaptadas a nuevas condiciones, por ejemplo, las variedades de maíz que son más aptas para sequías o para heladas.



Los diferentes tipos de maíz que las poblaciones locales han conservado en Mesoamérica, son un ejemplo del mantenimiento de la diversidad genética.

Tanto los agroecosistemas como los ecosistemas naturales pueden proveer los diversos servicios que describimos; sin embargo, el grado al que proveen cada servicio es diferente. Por ejemplo, los agroecosistemas están especializados y manejados por el productor para darnos servicios de provisión, mientras que los ecosistemas naturales nos dan más servicios de regulación y apoyo.



Actividad 1:

tradicionalmente, valoramos los agroecosistemas por sus servicios de provisión de la cosecha. ¿Qué otros servicios ecosistémicos puede brindar un cafetal? ¿Y una plantación de granos básicos? Guíese con los servicios que describimos anteriormente (Servicios de regulación, culturales, de apoyo, y otros servicios de provisión adicionales a la cosecha).

El cafetal, y las milpas son ejemplos de agroecosistemas. Estos proveen múltiples beneficios, tal como la provisión de la cosecha, distintos servicios de regulación y dependiendo de su manejo, hábitats para diferentes especies.

3. PSA: El Pago por Servicios Ambientales

¿Qué es el Pago por Servicios Ambientales⁽¹⁾?

El pago por servicios ambientales (PSA) es un **enfoque de mercado** basado en el principio de que las personas que se benefician de los servicios ambientales deben pagar por ellos, y los generadores de los servicios deben ser compensados⁴⁴. El pago por servicios ambientales (PSA) es un incentivo dado a los productores o dueños de terrenos quienes han aceptado llevar a cabo ciertas acciones para manejar su tierra o cuencas para proveer un servicio ecosistémico. Debido a que el pago da un incentivo a los dueños de la tierra, el PSA es un mecanismo de mercado para promover la conservación de los recursos naturales. En los esquemas de PSA las personas que manejan y usan los recursos naturales, generalmente productores o dueños de bosques, reciben un pago para conservar la biodiversidad, capturar dióxido de carbono, y otros servicios, a través de acciones que ellos ejecutan, por ejemplo, la siembra de árboles, el mantenimiento de bosque, o el uso de prácticas agrícolas sostenibles⁴⁷. Como a menudo los proveedores de servicios ecosistémicos son productores de escasos recursos, este enfoque tiene además la ventaja de proveer fondos adicionales para que mejoren sus medios de vida⁴³, sin comprometer el capital natural que poseen, y beneficiando a todos los que disfrutan el servicio ecosistémico.

Entre las condiciones para que exista PSA están²¹:

1. que el carácter de la transacción sea voluntario,
2. que el servicio esté bien definido y se pueda medir (ej. toneladas de carbono secuestrado), o un uso limitado de la tierra con prácticas que brindan servicios ambientales (ej. conservación de bosque para la provisión de agua limpia).
3. que debe haber al menos un comprador de servicios ambientales,
4. que debe existir al menos un proveedor del servicio,
5. que debe haber **condicionalidad de pago**: si no hay provisión de servicio, no hay pago. Idealmente, se hacen varios pagos escalonados durante el contrato, hasta un máximo convenido. Los pagos pueden ser en efectivo o en especie (ej., materiales y capacitación para productores). Usualmente los compradores de servicios ambientales supervisan el cumplimiento del contrato. En caso contrario, se suspende el pago.

En Latinoamérica ha habido varios ejemplos de experimentación con PSA. Solo en esta región, la Organización de Estados Americanos (OEA), registra 364 proyectos de este tipo, donde el financiamiento viene de fuentes muy diversas, tales como el pago de impuestos, cánones, o donativos⁽²⁾. Muchos de estos esquemas se han enfocado a los servicios que brinda el bosque, incentivando la conservación, restauración y manejo

1. Rapidel⁴⁹ indica que el término “servicios ecosistémicos” es generalmente usado por los profesionales de las ciencias biológicas y ecológicas, y enfatiza en la composición de las especies en un ecosistema. El término “servicios ambientales” es usualmente asociado con el Pago de Servicios Ambientales y con asuntos del rol de los bosques en el financiamiento de la conservación; este término es más usado más por los profesionales de las ciencias económicas..

2. <http://www.apps.oas.org/pes/default.aspx>.

del mismo; sin embargo en Costa Rica y otros lugares también se ha usado el PSA para áreas de agroforestería y reforestación⁴². En los siguientes cuadros 3.1 y 3.2 veremos en detalle dos casos de interés: el PSA en Costa Rica, y un proyecto silvopastoril con compensaciones por servicios ecosistémicos llevado a cabo en Nicaragua.

Cuadro 3.1. El PSA en Costa Rica

El sistema nacional del Pago por Servicios Ambientales (PSA) comenzó a funcionar en Costa Rica en el año 1997 como medida para evitar la deforestación y promover la conservación de los bosques, especialmente en áreas donde la provisión de servicios ecosistémicos es de vital importancia. Por medio del PSA, el propietario del bosque es compensado por los beneficios que deja de percibir de la extracción de madera. El sistema es compatible con otros usos como el turismo o el manejo sostenible cada cierto número de años.

Por el momento, el PSA en Costa Rica reconoce cuatro servicios principales que brindan los ecosistemas a la sociedad:

- (i) **secuestro** y almacenamiento de dióxido de carbono,
- (ii) servicios hidrológicos de protección de cuencas hidrográficas o **áreas de recarga hídrica**,
- (iii) conservación de la biodiversidad como protección a especies de flora y fauna y
- (iv) preservación de la belleza escénica⁴⁷.

En la actualidad se está desarrollando un sistema de PSA agroforestal que consiste en compensar al productor que promueva prácticas sostenibles en su finca, aportándole un pago por árbol existente en la finca.



El PSA brinda a los productores la oportunidad de obtener recursos mientras sus sistemas proveen servicios ecosistémicos.

Cuadro 3.2. El Proyecto Silvopastoril, un ejemplo de compensación por Servicios Ecosistémicos en agroecosistemas

El caso expuesto de Costa Rica requirió la creación de un marco legal para el país, pero existen proyectos pilotos en otros lugares para la implementación de PSA que no requieren una normativa legal, al ser proyectos. Un ejemplo de ello fue el Proyecto Silvopastoril, que estuvo probando el uso de PSA con el objetivo de conservación de la biodiversidad y secuestro de carbono, por medio de la promoción de la adopción de prácticas silvopastoriles en pasturas degradadas en Colombia, Costa Rica y Nicaragua. En este proyecto se valoró y compensó por los servicios ecosistémicos provistos por prácticas mejoradas. El financiamiento de este proyecto fue a través del Banco Mundial, e implementado en el campo a través de ONGs locales⁴⁴. Considerando que es muy difuso determinar quiénes son los usuarios de estos servicios, el pago a los proveedores se realizó a través del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), el cual fue establecido por la comunidad mundial para preservar beneficios globales.

En este proyecto se pagó a los productores por la adopción de prácticas que generan servicios ambientales, tales como la siembra de árboles en pasturas, los bancos forrajeros, el uso de cercas vivas, y el pastoreo ganadero en plantaciones forestales.

Para poder medir niveles de provisión de conservación de biodiversidad y secuestro de carbono, se diseñó un Índice de Servicios Ambientales (ISA); en este, se designó en una escala con un cero a las tierras que no estaban proveyendo servicios ambientales (tales como las pasturas degradadas), y con un 1 al bosque primario. Un grupo de expertos estimaba en qué nivel se encontraba cada finca participante del proyecto, basándose en factores como el número de especies, la producción de fruta, y la estratificación (para biodiversidad), y la capacidad de secuestro de carbono en suelo y madera para el servicio de secuestro de carbono, entre otros⁴⁴.

Los productores participantes recibieron pagos anuales, los cuales fueron basados en el aumento en el índice ISA en sus fincas, que se midió en una línea base y luego fue monitoreado en el campo. En el sitio específico de Matiguás–Río Blanco (Nicaragua), antes de la implementación de este proyecto, más del 60% del área estaba ocupado por pasturas, la mitad de ellas degradadas, y solo una cuarta parte tenían árboles. En promedio, luego del proyecto, el índice ISA de los participantes subió

en un 42%. Así, este proyecto se diferenció de otros que subsidian la adopción de buenas prácticas porque los pagos realizados fueron en relación a los cambios en los servicios provistos y medidos. A diferencia de otros programas de PSA, en este proyecto los pagos fueron de corto plazo, pero tuvo la ventaja de que con estos fondos se pagó el costo de establecer prácticas silvopastoriles, que a pesar de que dan muchos beneficios, a menudo son poco atractivas a los productores por el costo de su inversión inicial⁴⁴.



El uso de cercas vivas puede servir para aumentar las reservas de carbono, así como brindar servicios ecosistémicos de aprovisionamiento.

4. La dependencia de la agricultura de los servicios ecosistémicos

En nuestra región, los productores agropecuarios y especialmente los pequeños productores agrícolas, dependen directamente de los servicios ecosistémicos para la producción en sus parcelas, y por lo tanto, para el mantenimiento de sus medios de vida. En los ecosistemas se dan interacciones múltiples y no existe



una forma única de manejo, sino que en cada caso habrá que identificar las condiciones que nos permitan maximizar la provisión de los servicios ecosistémicos más necesarios. La agricultura, a su vez, provee servicios de regulación, aprovisionamiento y culturales esenciales para las comunidades⁴⁶.

Servicios ecosistémicos importantes para la agricultura

A continuación, entramos en el detalle de cómo funcionan algunos de los servicios ecosistémicos más importantes para la agricultura, en especial la polinización, el control natural de plagas, la provisión de agua y el mantenimiento del suelo.

1. Polinización

Cerca del dos tercios de las plantas de cultivos comestibles, como los melones o el girasol necesitan de un animal para poder ser polinizadas, ya sea por abejas, escarabajos, aves, murciélagos o mariposas, entre otros^{23,54}. Otros cultivos, como el maíz y los frijoles, no requieren organismos vivos para polinizarse, sino que requieren del viento o se autopolinizan, es decir, no requieren la polinización por medio de insectos o aves. Muchos cultivos dependen de polinizadores de ciertas especies, además de cierta cantidad de estos organismos para su fructificación. La escasez de polinizadores y la pérdida de polinizadores específicos pueden causar mermas en los rendimientos de los cultivos. Para que estos polinizadores puedan seguir proveyendo del servicio, se necesita de una gran variedad de hábitats naturales para su alimentación, reproducción y refugio¹². Los hábitats clave para los polinizadores los encontramos en áreas boscosas, vegetación en regeneración, y otras áreas naturales que ofrezcan flores para los polinizadores a través del año.

En el caso del café, este es un cultivo que se puede autopolinizar, sin embargo, el rendimiento de café puede mejorar de 15 a 50% cuando las abejas están presentes, porque aumentan la polinización⁵¹. Como las abejas nativas dependen de la vegetación natural, hay estudios que encuentran que hay una baja diversidad de

polinizadores en plantaciones que están lejos de los parches de bosques del hábitat nativo. Al haber pocas abejas cerca, esto afecta los rendimientos cafetaleros, los cuales a su vez, afectan el bolsillo del productor.

Para profundizar en este tema, Ricketts et al.⁵¹ realizaron un experimento donde se estimó el valor económico de la polinización en el café en el Valle del General en Costa Rica. Para ello, establecieron experimentos en plantaciones de café, comparando la polinización hecha a mano (quitando las flores de individuos cercanos y rozándolas con los estigmas de cada flor) y la polinización en cafetales cercanos a bosques, comparando con los rendimientos obtenidos. Gracias a estos experimentos, se determinó que el incremento en rendimiento del cultivo fue de 20% en las cercanías de 1 km del bosque. Además, subió la calidad en un 27%, porque hubo menos granos deformados. El servicio de los polinizadores, considerando el precio de mercado del café en el año 2002-2003, representó un ingreso adicional de \$128 dólares estadounidenses por hectárea.

2. Servicio de Control Natural de Plagas

En la agricultura, en todas las fases del cultivo y post-cosecha, lidiamos con plagas y enfermedades en forma de microorganismos, insectos, o roedores, así como las malezas que compiten con los cultivos y limitan su crecimiento¹¹. A pesar de su abundancia, se estima que la mayoría de las plagas potenciales de los cultivos están controladas por enemigos naturales como lo pueden ser algunas aves, insectos, parásitos, parasitoides, virus y otros tipos de microorganismos¹⁴, los cuales solo están presentes en el cultivo si tienen un hábitat que los sostenga.

Por medio de este control se reduce la necesidad del control químico (sintético) en los cultivos, suponiendo además un ahorro al productor³⁹. En el cuadro 3.3 vemos un ejemplo del control biológico de la broca del café y el gasto evitado para el productor.



Algunas aves pueden cumplir una labor fundamental en la regulación de plagas en una plantación.

Cuadro 3.3. Los servicios ecosistémicos y la broca del cafeto

La broca (*Hypothenemus hampei*) es el insecto más dañino para el café en Centroamérica; el mismo penetra en las cerezas y destruye una parte considerable de la producción, reduciendo los ingresos. El aumento de temperaturas que traerá el cambio climático, favorecerá al insecto y su reproducción³³.

Algunas opciones para combatir la plaga son³⁴:

A) La aplicación de pesticidas: sin embargo, son inefectivos debido a que:

- El insecto se encuentra protegido dentro de la cereza la mayor parte del tiempo;
- El insecto desarrolla resistencia a los agroquímicos;
- algunos de ellos tienen consecuencias negativas para la salud humana y de los ecosistemas

B) Una solución viable, son los insectívoros nativos, los cuales son una solución ecosistémica para reducir problema de la broca, tales como aves, hormigas y herpetofauna.

En el caso de la broca, los insectívoros más eficientes son ciertas especies de aves que se alimentan de estos insectos, tales como el ticotico gorgiclaro (*Automolus ochrolaemus*), cucarachero pechirrufo (*Pheugopedius rutilus*), reinita coronirufa (*Basileuterus rufifrons*), esmeralda coliblanca (*Elvira chionura*) y la reinita del manglar (*Setophaga petechia*)³⁴.

Estas aves están asociadas a fragmentos de bosque cercanos a los cafetales y corredores biológicos, que les sirven de hábitat y refugio y les proveen de alimento el resto del año. En un estudio llevado a cabo en Coto Brus, al Sur de Costa Rica, se ha observado que la presencia de estas aves reduce en 45% la infestación de broca en el café, y que el efecto es mayor cerca de los parches de bosque, especialmente en los alrededores de parches de más de una hectárea de superficie. Esto implica que el café que crece cerca de parches de bosque, está más protegido contra la broca gracias al servicio que ofrecen las aves insectívoras, por lo que conservar estas áreas favorece al productor cafetalero. En términos económicos, este servicio de control de plagas significó costos evitados de \$75 a \$310 USD por hectárea por año³⁴. Este es un ejemplo de cómo la conservación incrementa la biodiversidad proveyendo hábitat a las aves, que a su vez provee un servicio de regulación de plagas.



En un estudio llevado a cabo en Costa Rica, se comprobó que la esmeralda coliblanca (*Elvira chionura*) es una de las aves que se alimenta de la broca (*Hypothenemus hampei*).

3. Agua (provisión y regulación)

Los patrones climáticos de lluvia, así como el equilibrio de los componentes del ciclo hidrológico, las características de la vegetación, suelo y subsuelo influyen en la cantidad, calidad y temporalidad del agua disponible por medio de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas⁵⁹. El volumen de agua disponible, tanto superficial como subterránea, se considera un servicio de provisión. Por otra parte, la regulación de la calidad y cuando la obtenemos en el tiempo, son servicios de regulación. Finalmente, la existencia misma del ciclo hidrológico es un servicio de soporte⁷. En agricultura, la disponibilidad del agua varía dependiendo naturalmente de la zona, pero también está determinada por su accesibilidad, por la cantidad requerida y su uso eficiente²⁰.

Flujo del agua

Para que entendamos el valor de los servicios ecosistémicos en el flujo y provisión del agua, es importante que comprendamos el ciclo del agua, el cual está ilustrado en la figura 1.

Debido a la radiación solar, los cuerpos de agua como los océanos, lagos y ríos se evaporan, y también el agua de la superficie terrestre. Por otra parte, las plantas absorben agua del suelo y transpiran en forma de vapor de agua a la atmósfera. A medida que el agua gaseosa asciende en la atmósfera, esta se enfría y convierte en gotas de agua (proceso llamado **condensación**) y se acumula en forma de nubes. Estas gotas se convierten en lluvia dependiendo de su tamaño. Cuando se da la precipitación, pueden ocurrir varios escenarios: el agua se puede infiltrar a distintas profundidades, puede correr como flujo superficial en la tierra (escorrentía), acumularse o ser retenida en las plantas, o encharcarse⁵⁵ y llegar a los ríos.

Cuando hay aguaceros en las zonas altas de una cuenca, la escorrentía contribuye a que suba el nivel del agua de los ríos rápidamente y el nivel freático, lo que provoca inundaciones con potencial de dañar los caminos y las plantaciones, pudiendo erosionar el suelo que a su vez es depositado en el curso de los ríos y

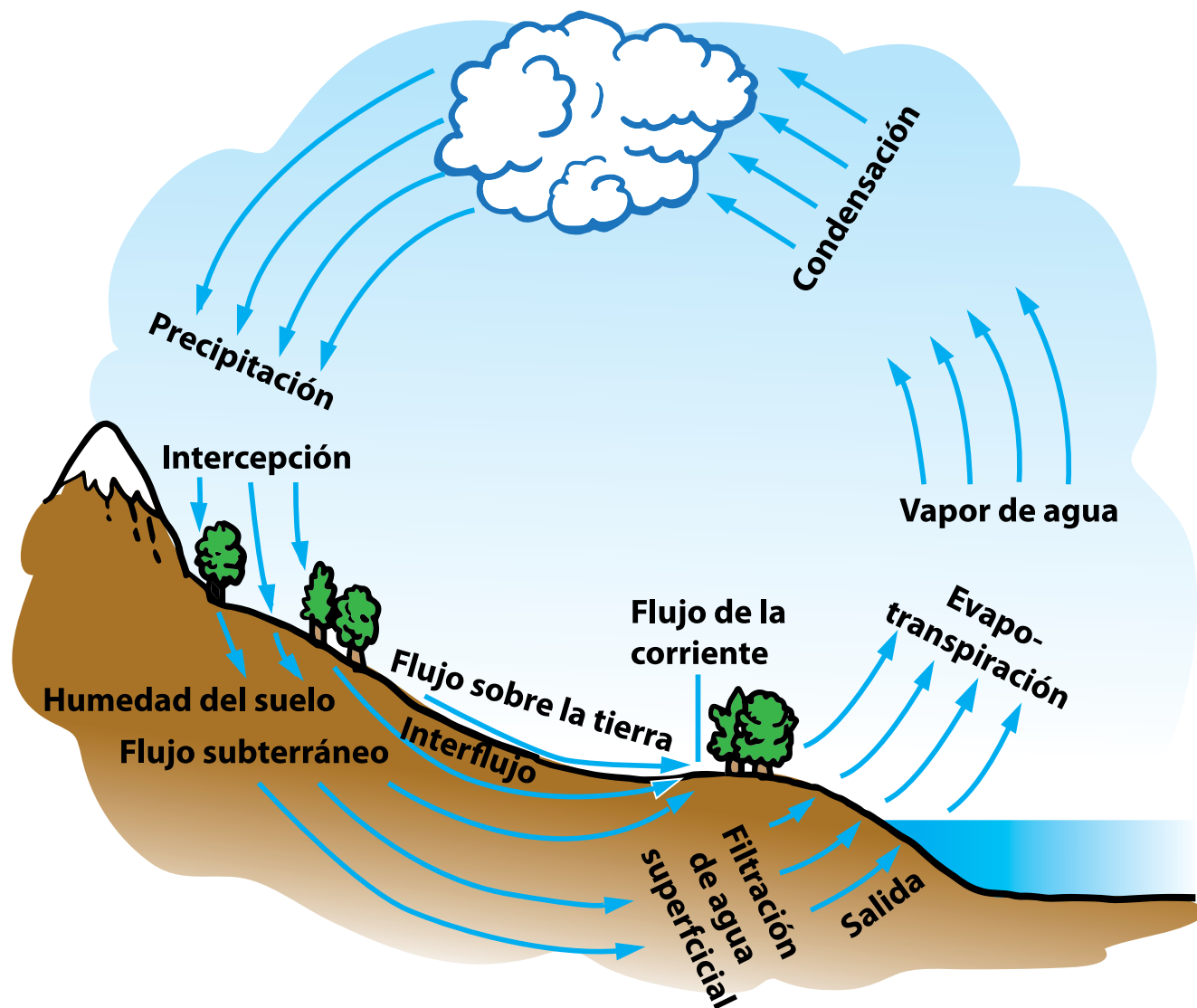


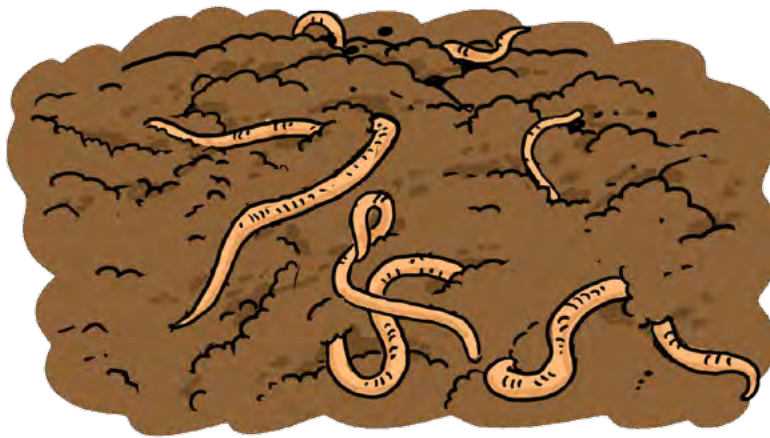
Figura 1. Ilustración del ciclo del agua. (Tomado de Shaxon y Barber⁵⁵)

aguas abajo a modo de **sedimentos**⁵⁵. Otra opción es que el agua se **infiltre** en el suelo, lo cual contribuye a llenar la reserva de agua del suelo superficial, que será luego evaporado y transpirado por las plantas. También puede drenar debajo de este suelo superficial y llenar los acuíferos de la parte alta de la cuenca, que luego alimentarán los acuíferos bajos de la cuenca⁴⁹.

Aunque el ciclo del agua es complejo y juegan otros factores (la estacionalidad, las fuentes de la precipitación, etc.), la interacción del bosque y el agua es fundamental para el equilibrio de la provisión del agua. Los bosques proveen humedad a la atmósfera que se convierte en lluvia en el ciclo hidrológico. Sin bosques ni humedales, habría mucha menos precipitación, ya que la humedad de otras fuentes (ej. del mar), no es suficiente para proveer de lluvia a los sistemas terrestres¹⁵. De manera similar, en agricultura, es importante el papel que juega la vegetación en el ciclo del agua. Un agroecosistema en con cobertura de árboles puede tener mayor infiltración del agua (más profunda), reducir la evapotranspiración de las hojas, y retener el agua por más tiempo, ya que tiene más hojarasca y la presencia de árboles brinda intercepción a través de sus hojas, pero esto varía dependiendo de la forma y tamaño de los árboles de sombra⁴⁹, por lo que nuestras decisiones sobre el diseño de la sombra son importantes para el servicio ecosistémico que nos pueda proveer la plantación.

4. Mantenimiento del suelo

El suelo es el soporte de los sistemas terrestres y de los servicios de provisión que nos da el bosque y la agricultura, además es la estructura que apoya las construcciones del ser humano y la **biosfera**¹⁹. Los servicios ecosistémicos que los suelos proveen dependen de sus propiedades (por ejemplo si son limosos, arcillosos o arenosos y en qué porcentaje tienen estos componentes) y la influencia del uso y manejo. Un mal manejo propicia la erosión, la pérdida de nutrientes o la degradación y es perjudicial para los servicios de provisión, de los cua-



La comunidad biótica del suelo es fundamental para los servicios que el mismo provee

les el suelo es base¹. Sin embargo, hay servicios del suelo más allá de la provisión de alimentos, como por ejemplo con el almacenamiento de carbono.

Una gran parte de los servicios ecosistémicos que provee el suelo se deben a su relación con la **comunidad biótica**, tales como los microorganismos, microfauna, micorrizas, que se encuentran en él, es por ello que la biodiversidad del suelo es crítica para el servicio que los suelos proveen¹⁹. Los microorganismos del suelo regulan los servicios ecosistémicos del suelo y realizan funciones fundamentales, que las podemos dividir en reciclaje de nutrientes y estructurales, detalladas a continuación:

Funciones de los microorganismos del suelo en el ciclo de nutrientes²:

- Conversión del nitrógeno orgánico y otros elementos en formas disponibles para las plantas
- Descomposición de la materia orgánica
- Mineralización de nutrientes
- Regulación de las poblaciones de bacterias y hongos (incluye a posibles patógenos)
- Favorecimiento de la absorción de agua

Funciones de los microorganismos en la estructura del suelo^{2,38}:

- Producción de compuestos orgánicos que unen y estabilizan estructuralmente los agregados
- Creación de relaciones estructurales a través de interacciones con **microflora**
- Creación de **bioporos**, los cuales propician la infiltración del suelo y la **humificación**
- Mezcla de partículas minerales y orgánicas, redistribución de la materia orgánica a través de movimientos (de insectos y de lombrices).

5. ¿Cómo contribuye el buen manejo agrícola a los servicios ecosistémicos, en el contexto de la resiliencia climática?

La posibilidad de que un agroecosistema provea un servicio ecosistémico depende de su manejo. Con el objetivo de maximizar el servicio de provisión, tal como la cosecha, las actividades agrícolas a veces modifican o disminuyen otros servicios ecosistémicos. Por ejemplo, las decisiones acerca del uso de agroquímicos en la agricultura tienen efectos en los servicios ecosistémicos. Por un lado, los pesticidas pueden eliminar las plagas, pero podrían estar eliminando también a los enemigos naturales. La aplicación de fertilizantes nitrogenados tiene consecuencias para los ecosistemas porque puede llevar a contaminación en la atmósfera y el agua. Por una parte, el productor está ganando una mejor cosecha que si no usara agroquímicos, pero los servicios ecosistémicos están pagando con menos enemigos naturales, y peor calidad de agua y de aire¹³, con consecuencias a largo plazo. Las buenas prácticas de manejo pueden aminorar muchos de los impactos negativos que a menudo se le atribuyen a la agricultura, al mismo tiempo que ayudan a mantener la provisión de servicios ecosistémicos⁴⁸ y pueden ayudar a asegurar la resiliencia ante eventos extremos.

El mantenimiento de buenas prácticas es particularmente importante en nuestro contexto actual, ya que los cambios en el clima tienen consecuencias en las funciones fundamentales para la agricultura, tales como los servicios de provisión (cosecha), regulación y provisión de agua, la regulación de plagas y el amortiguamiento de los eventos extremos que serán cada vez más comunes. Es un reto realizar cambios que ayuden a los ecosistemas a reforzar la resistencia y reducir los aspectos que los hacen vulnerables¹⁶.

Se espera que muchas especies-tanto animales como vegetales- sean afectadas por el cambio climático; sin embargo, a gran escala, un ecosistema sano tratará de compensar esos impactos al regular las interacciones entre sus componentes y su **funcionalidad**, adaptándose a las nuevas condiciones. En el caso de los agroecosistemas



Las decisiones de los productores sobre usar o no mecanización para el terreno, o el tipo de semilla a sembrar, tienen consecuencias para la provisión de servicios ecosistémicos

degradados, esa capacidad se verá reducida, y por lo tanto el impacto del clima será más notable, contribuyendo a la reducción de los servicios ecosistémicos. La degradación de los ecosistemas constituye un factor de riesgo per se, dado que los servicios ecosistémicos tienen el potencial de regular y mitigar riesgos, controlar la exposición, incrementar la capacidad adaptativa y reducir vulnerabilidad recuperando los medios de vida y la sostenibilidad⁵⁰

Las buenas prácticas agrícolas tienen como objetivo lograr la sostenibilidad ambiental, económica y social de la producción. Entre sus principios se encuentra el sostenimiento y la promoción de la base de recursos naturales, que como hemos visto, es fundamental para la provisión agrícola y los servicios ecosistémicos. Métodos como el manejo integrado de plagas, la gestión integrada de los nutrientes y la agricultura de conservación son parte de estas buenas prácticas. Estos métodos se aplican en distintos sistemas de producción y en unidades de diferente tamaño¹⁷.

Aumentar la resiliencia de los agroecosistemas es fundamental para poder apoyar los medios de vida de los productores en el panorama actual del cambio climático. Las estrategias de buenas prácticas que integren los recursos naturales vulnerables son fundamentales para reducir su vulnerabilidad en la finca. A continuación describimos algunas buenas prácticas y su relación con servicios ecosistémicos particulares.

I. Buen manejo y plagas/enfermedades

Una de las estrategias de buen manejo es la diversificación de las plantaciones. Las consecuencias de un manejo agrícola poco diverso, por ejemplo una plantación de maíz sin ningún asocio, son evidentes en el servicio ecosistémico de regulación de plagas y enfermedades. Debido a la importancia económica que tiene el impacto de las plagas y enfermedades, es importante tener una estrategia para la finca donde las plagas no se vuelvan una preocupación. Cuando se tienen agroecosistemas diversos hay muchas interacciones entre poblaciones, por lo que es posible tener **autoregulación** en la comunidad natural, y por ende estos sistemas son menos frágiles que los agroecosistemas con monocultivos².



La falta de diversificación en una plantación hace que las plantaciones sean más vulnerables a plagas y enfermedades.

Las condiciones microclimáticas, de humedad, etc., que propician a cada plaga y enfermedad en un cultivo dado son diferentes entre sí. El manejo debe ser específico para cada plaga y enfermedad; sin embargo, el potencial de tener un bajo nivel de plagas y enfermedades en los agroecosistemas está influenciado por los siguientes factores relacionados a los servicios ecosistémicos²:

- a. Alta diversidad de los cultivos en tiempo y espacio;
- b. Discontinuidad de monocultivos a través de rotaciones, uso de variedades de maduración rápida, uso de barbecho o periodos sin cultivo;
- c. Campos dispersos, recreando la estructura de un mosaico de cultivos y de tierras no cultivadas que pueden proveer hábitat para los enemigos naturales. Las plagas también crecen en estos ambientes

dependiendo de la composición de las plantas presentes ahí, sin embargo, la presencia de las plagas en densidades bajas o en plantas hospederas alternativas puede ser necesario para mantener a los enemigos naturales;

- d. Fincas que tengan un cultivo perenne dominante, ya que estas son más estables que las áreas con cultivos anuales. Los cultivos perennes tienen mayor diversidad, y mayor oportunidad de que se establezcan agentes de control biológico;
- e. Presencia de niveles tolerables de malezas específicas;
- f. Alta diversidad genética, ya sea por el uso de múltiples variedades o por múltiples especies.

Manejar una plantación propiciando la diversidad tiene efectos positivos en el cultivo y en el ambiente; aunque el manejo que se realice no sea directamente sobre las enfermedades, plagas o malezas, puede haber efectos indirectos sobre estos problemas a través del manejo. Entre más se parezca un cultivo a un ecosistema natural, es más complejo en su composición y es más posible que se prevengan las plagas y enfermedades. Esto se debe a que la diversidad de plantas puede hacer que se mejore la abundancia de depredadores naturales, o a que otras plantas diferentes al cultivo sirvan como hospederos para la plaga, protegiendo así al cultivo principal⁴. Por ejemplo, en los sistemas agroforestales en café hay menos malezas por el efecto de las hojas de los árboles en el suelo, y porque los árboles dejan que se filtre menos luz que en un sistema a pleno sol⁴⁹, por ende creando condiciones que no son propicias para las malezas. Sin embargo, por otra parte, la hojarasca puede ayudar en el ciclo reproductivo de la broca evitando que el fruto en el suelo no se seque, y por tanto dando hábitat para que la broca siga en el cafetal.



Beauveria bassiana es un hongo ampliamente usado para como insecticida biológico. Este hongo funciona mejor en agroecosistemas con sombra.

La diversidad dentro de una plantación también tiene consecuencias positivas sobre los depredadores de plagas y enfermedades, al proveer hábitats para su supervivencia. Por ejemplo, los productores que usan *Beauveria bassiana*- un hongo que crece en el suelo y que puede infectar a los insectos, por ende puede ser usado como un insecticida biológico notan que este hongo funciona mejor en agroecosistemas con sombra⁴⁹. Otro caso lo brinda una hormiga clave para el agroecosistema (*Azteca instabilis*) que vive en árboles dentro del cafetal, y puede controlar tanto la cochinilla (*Coccus viridis*) y la broca (*Hypothenemus hampei*), y ocasionalmente también son predadoras del minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*)⁵⁸

La baja diversidad hace a los agroecosistemas vulnerables al cambio climático. Los agroecosistemas dominados por monocultivos con una o dos variedades agrícolas no tienen la diversidad para evitar desastres. En los sitios donde hay gran homogenización agrícola existe una gran vulnerabilidad. Esto se da cuando hay una plaga o enfermedad que ataca, y al no haber diversidad en el cultivo, hay una pérdida generalizada de cosechas¹⁸. En vista de que es posible que las plagas sean más virulentas en el futuro, es necesario una gestión adecuada de la biodiversidad agrícola para mantener al sistema en equilibrio³. Las consecuencias de la homogenización agrícola han sido evidentes en Estados Unidos por pérdidas masivas de maíz por el hongo *Bipolaris maydis*; en este caso, la homogenización agrícola fue un problema principal, y a ello se sumó la dispersión del hongo facilitada por condiciones meteorológicas favorables⁵².

2. Buen manejo y suelo

Como ya hemos analizado antes, la productividad agrícola está fundamentada en el suelo. La sostenibilidad de la producción radica en el estado del suelo y de sus microorganismos. Manejar adecuadamente el suelo mantiene y mejora la productividad, incrementando la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. Esto se logra a través de distintos procesos, como la actividad biológica del suelo y la reposición de la materia orgánica. El buen manejo del suelo también incluye la reducción al mínimo de sus pérdidas, nutrientes y sustancias agroquímicas debido a la erosión, la escorrentía y la lixiviación en el agua de superficie o subterránea¹⁷. Las consecuencias de las decisiones del manejo del suelo son evidentes en la finca, pero también en la cuenca hidrográfica por las repercusiones fuera del lugar en la escorrentía, los sedimentos, entre otros¹⁷.

Específicamente, las buenas prácticas del suelo incluyen el mantenimiento o mejoramiento de la materia orgánica por medio de rotaciones de los cultivos, la aplicación de adecuada fertilizantes y las prácticas de conservación de suelos. Otras prácticas que se pueden nombrar son el mantenimiento de la cobertura del suelo para proporcionar un hábitat que favorezca la biota del suelo, reduciendo las pérdidas de suelo por erosión¹⁷.



Las prácticas que propician la incorporación y descomposición de la materia orgánica sirven para el mantenimiento del suelo, proveyendo hábitat para los micro y macroorganismos del suelo, y favoreciendo la mineralización de nutrientes.

La reducción de usos de fertilizantes también resulta en una buena práctica agrícola. A menudo, se puede bajar el uso de fertilizantes con beneficios para el ambiente, por ejemplo, a través de la implementación de prácticas que proveen materia orgánica al agroecosistema, mejorando la fertilidad sin necesidad de fertilizantes sintéticos¹³. También se pueden lograr buenos rendimientos con pocos insumos con la agricultura de precisión, la cual incluye prácticas como el momento adecuado para fertilizar (ya sea con abonos orgánicos o sintéticos), el análisis de suelos para calcular la fertilización ideal, entre otros⁶⁰. La aplicación de fertilizantes y enmiendas en cantidades adecuadas debe hacerse de acuerdo a las necesidades agronómicas, debido a sus posibles consecuencias ambientales y de la salud humana¹⁷.

La incorporación de prácticas agroforestales también se considera una buena práctica para el suelo. Los árboles en los cultivos, como la sombra en el café o los árboles dispersos en cultivos anuales contribuyen a la sostenibilidad del suelo porque proveen nutrientes al suelo continuamente y porque no disturban la estructura del suelo. La continua provisión de materia orgánica que dan los árboles es una fuente de energía y alimento para los **organismos benéficos**, tales como las lombrices³⁸. La materia orgánica contribuye a mantener la fertilidad³⁸ e incluso mejorarla⁶². A través de estas prácticas se propicia la formación de cobertura del suelo (**mulch**). Adicionalmente, conserva buena composición gracias a los aportes de materia orgánica que obtiene de la descomposición de hojas, ramas y otros. En el cuadro 3.4 vemos una descripción de los beneficios de la incorporación de árboles en plantaciones agrícolas.

Cuadro 3.4. Ventajas de mantener árboles en los cultivos

Tener árboles en el cultivo tiene muchas ventajas para la conservación del suelo, evitando la erosión a través de:

- El aumento de la cobertura muerta del suelo (hojarasca, ramas) y la provisión de materia orgánica⁶², que mantienen activo el ciclo de nutrientes;
- Favorece el desarrollo natural de terrazas a través de la acumulación de suelo;
- Estabiliza la estructura del suelo a través de los sistemas radiculares⁶², y aumentando además la infiltración y la capacidad de retención del agua³⁸
- La reducción de la evaporación y por ende el mantenimiento de la humedad en el suelo³⁸.

A continuación en la figura 2 podemos ver un esquema de los múltiples beneficios de la incorporación de árboles en parcelas agrícolas.

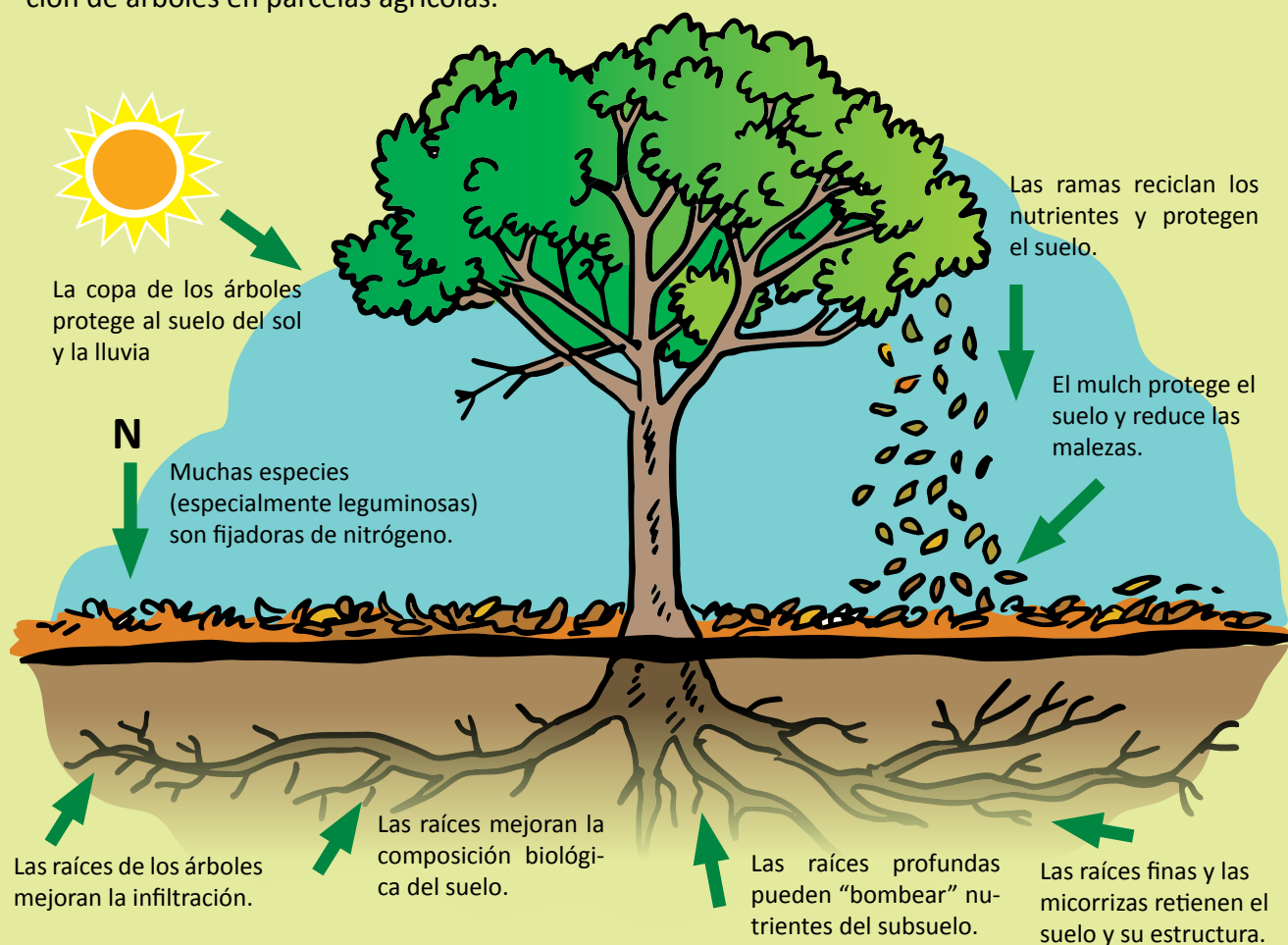


Figura 2. Funcionamiento de los procesos involucrados en los beneficios que proveen los árboles
Adaptado y traducido de Muschler³⁸

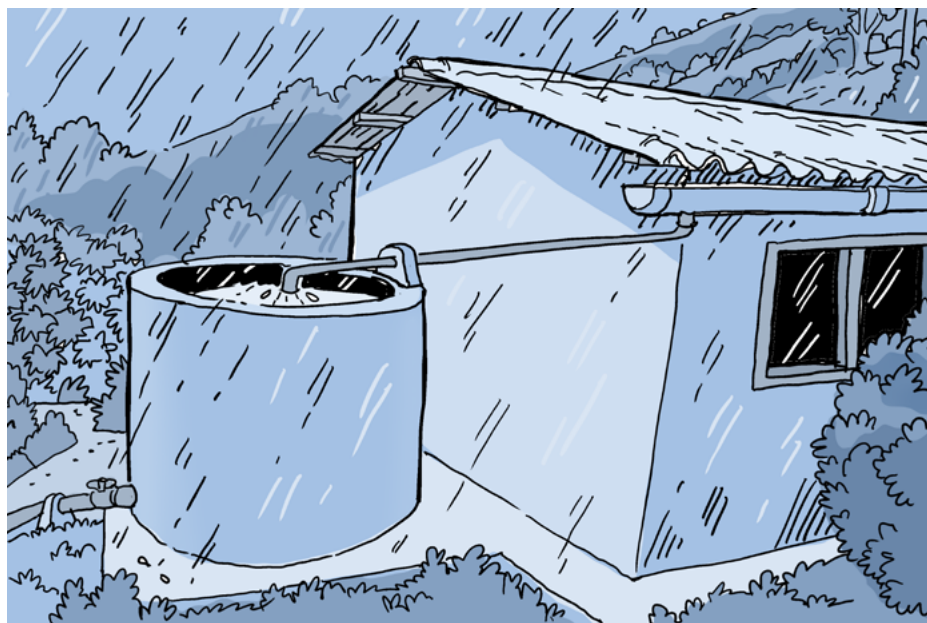
En la agricultura, podemos aprovechar las **asociaciones simbióticas** en el manejo; un ejemplo de ello es el efecto de la introducción de cultivos de cobertura leguminosos tales como el frijol gandul (*Cajanus cajan*) los cuales contribuyen al suelo con **micorrizas** de sus raíces, que hacen disponible el fósforo que estaba insoluble en el suelo, para que las plantas puedan usarlo^{56 en 38}.

Las decisiones de manejo relacionadas con la cobertura del suelo también tienen consecuencias en la erosión, e impactar la calidad del agua y la futura productividad agrícola. Las áreas sin ninguna cobertura están directamente relacionadas con la erosión, especialmente en zonas de pendiente. Proteger el suelo con cultivos de cobertura y con prácticas de cero labranza pueden reducir la erosión de manera importante¹³, y con ello aumenta la posibilidad de ser más resilientes a la lluvia extrema.

3. Buen manejo y agua

El manejo y uso eficiente del agua para los cultivos y los pastizales, para el riego, para el ganado, son fundamentales en el contexto de las buenas prácticas agrícolas. Son muchas las prácticas de buen manejo de agua. Algunas de ellas son las que incluyen aspectos como el aumento al máximo la infiltración y la reducción de las emanaciones improductivas de aguas de superficie de las cuencas hidrográficas. También la gestión de las aguas freáticas y del suelo mediante un uso adecuado; el mejoramiento de la estructura del suelo y el aumento del contenido de materia orgánica del suelo; la aplicación de insumos de producción evitando la contaminación hídrica. Otros aspectos tecnológicos para el buen manejo del agua son la cosecha de agua de lluvia, la programación precisa del riego y evitar la salinización del suelo mediante la adopción de medidas destinadas a ahorrar agua y a reciclarla, siempre que sea posible; el mejoramiento del funcionamiento del ciclo del agua mediante el establecimiento de una cubierta permanente.

Un efecto importante del cambio climático que puede afectar indirectamente a los ecosistemas es la menor disponibilidad de agua y el incremento en la demanda de agua para riego y uso humano, a consecuencia de las mayores temperaturas, cambio en la estacionalidad y mayor evapotranspiración, entre otros⁵. En Centroamérica, especialmente en Guatemala, Honduras y El Salvador, las proyecciones indican tendencias de baja disponibilidad de agua en el futuro, especialmente en las ciudades con mayor densidad de población, de ahí la importancia de promocionar prácticas que propicien el buen manejo del agua.



La cosecha de agua de lluvia es una solución tecnológica del manejo del recurso hídrico

Las prácticas que agregan materia orgánica al suelo, ya sea a través de estiércol animal, compost, hojarasca, cultivos de cobertura, rotación de cultivos que aportan grandes cantidades de residuos, etc., son clave para garantizar la resiliencia de los sistemas agrícolas. Estas prácticas mejoran la capacidad de retención de agua del suelo, haciéndolo más resistente a las sequías, mejorando su capacidad de infiltración y evitando la escorrentía durante lluvias intensas. La materia orgánica también mejora la agregación de suelo superficial, sujetando firmemente las partículas durante lluvias o tormentas o vientos fuertes³. Además generalmente contienen microorganismos importantes para la interacción planta-agua y nutrientes, aumentando la resistencia a la sequía y el rendimiento²⁵, permitiendo el uso más eficiente del agua.



Las prácticas agroforestales pueden ayudar a aprovechar el agua en la plantación y evitar el riesgo de inundaciones cuenca abajo.

Las prácticas agroforestales, la incorporación de árboles en el cultivo del café pueden incrementar la infiltración y regular los flujos hídricos cuenca abajo, disminuyendo el riesgo de inundaciones y aumentando los caudales de los ríos en verano⁴⁹. También contribuyen a evitar derrumbes cuando el suelo se encuentra en su capacidad máxima. Sin embargo, la incorporación de árboles, como en el caso de los cafetales con sombra, puede aumentar el requerimiento hídrico y la competencia por el agua con el cultivo en momentos de sequía respecto a cafetales a pleno sol, pero proveen otros servicios ecosistémicos y ventajas a largo plazo.

4. Buenas prácticas y amortiguación de eventos extremos

Los ecosistemas y los organismos vivos amortiguan los impactos naturales tales como sequías, tormentas y desprendimientos, a la vez que regulan el clima e influyen en el ciclo hídrico⁵⁷. Como se espera que los eventos extremos sean más frecuentes e intensos en las próximas décadas a consecuencia del cambio climático, especialmente de los fenómenos hidrometeorológicos y las sequías, el rol de los ecosistemas naturales y las buenas prácticas será más evidente.

Específicamente, la implementación de prácticas para estabilizar los agroecosistemas incluyendo diversificación de cultivos, conservación y manejo orgánico de suelos, cosecha de agua de lluvia, riego y restauración de tierras degradadas son útiles para prepararse para los efectos adversos del cambio climático, con menor vulnerabilidad y mayor sostenibilidad a largo plazo. A nivel del paisaje, las cuencas con más vegetación natural son más resilientes, y protegen contra los embates de los eventos extremos como derrumbes, erosión, inundaciones, entre otros. Al diseñar agroecosistemas rodeados de un paisaje más complejo, con sistemas productivos diversificados y suelos cubiertos y ricos en materia orgánica, se está brindando la oportunidad de tener un agroecosistema más resiliente al cambio climático³.



Al no tener buenas prácticas agrícolas que incorporen árboles, se puede sufrir las consecuencias de deslizamientos.

Los agroecosistemas biodiversos, con prácticas sostenibles tienen mejor desempeño frente a los impactos de los eventos extremos que los sistemas productivos menos diversos. Distintos estudios demuestran que la resistencia a los desastres está relacionada con la diversidad en los sistemas productivos. Por ejemplo, en el año 2005, en Chiapas, México, los sistemas cafetaleros más complejos ecológicamente y con mayor diversidad en su vegetación tuvieron menos daños por el huracán *Stan* que los sistemas más simples⁴⁵.

Los sistemas agroforestales, sistemas silvo-pastoriles y policultivos, son ejemplos de agroecosistemas complejos que pueden adaptarse y resistir los efectos del cambio climático. Los sistemas agroforestales ayudan frente a grandes fluctuaciones de temperatura, manteniendo al cultivo principal más cerca a sus condiciones óptimas o aptas³⁶. Además, los policultivos exhiben una

mayor estabilidad en los rendimientos y menor disminución de productividad en condiciones de sequía, a diferencia de los monocultivos³.

Los sistemas con sombra son importantes porque dan mayor protección a los cultivos cuando hay menor precipitación y menor disponibilidad de agua en el suelo, ya que la cubierta de árboles reduce la evaporación del suelo y aumenta la infiltración del agua³⁶. Cuarenta días después del Huracán Ike en Cuba, los productores de fincas diversificadas reportaron que tuvieron pérdidas de solo 50% versus el 90 o 100% en las fincas vecinas con monocultivos⁵³. Más cercano a nuestra región, después del paso del Huracán Mitch en 1998, un estudio mostró que los productores que manejaban su agroecosistema con prácticas de diversificación tales como cultivos de cobertura, cultivos intercalados y agroforestería sufrieron menos daños que sus vecinos con monocultivos²⁸, lo cual veremos en el cuadro 3.5.

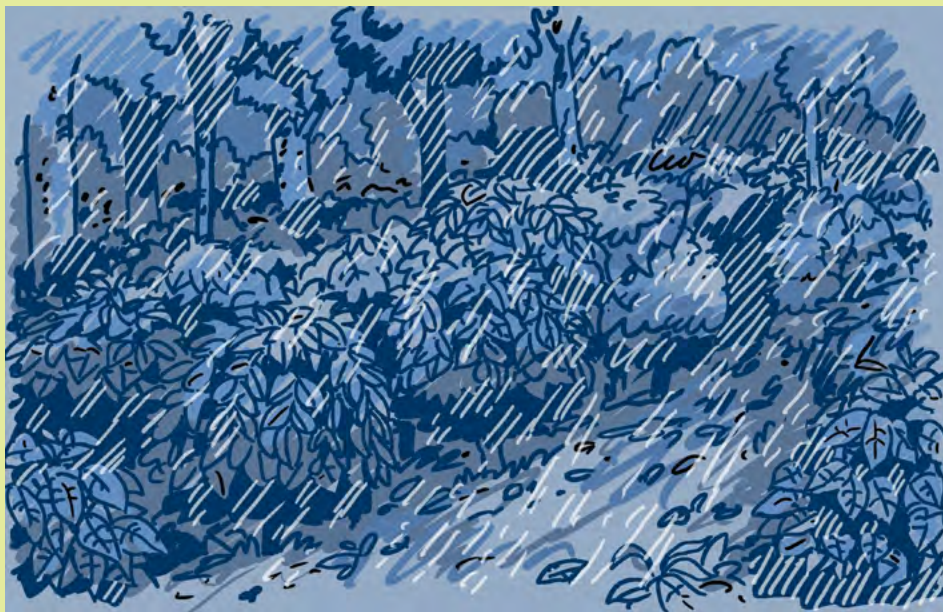
Cuadro 3.5. La protección ante eventos extremos: el caso del huracán Mitch y las prácticas de manejo

El huracán Mitch, en 1998, fue un evento extremo de máximas proporciones en Centroamérica, el tercer peor huracán del siglo XX. Las pérdidas totales fueron estimadas en US\$6,656 millones de dólares estadounidenses, el 13.3% del Producto Interno Bruto Regional. Dejó una ola de destrucción con 3 millones de personas **damnificadas**. Muchos observadores afirman que además de las lluvias y vientos de hasta 285 km/hora, el desastre se exacerbó a la magnitud por la deforestación, las prácticas agrícolas no sostenibles, la erosión del suelo y otras formas de degradación ambiental relacionadas a la agricultura³⁰ y a la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas. Prueba de ello se halla en el Plan Maestro de la Reconstrucción y Transformación Nacional del gobierno hondureño²⁷,

que señala “...gran parte de la magnitud del desastre se vincula con el alto grado de vulnerabilidad del país; atribuible en gran medida a inadecuados estilos de desarrollo, a la ocupación desordenada del territorio, al diseño y localización de la infraestructura pública y privada sin las necesarias especificaciones ambientales y de análisis de riesgo, y a la alta incidencia de pobreza.”

A pesar de este intenso evento extremo, con magnitudes desproporcionadas, el daño agrícola no fue igual en todos los sitios, en parte por la intensidad de la lluvia, la vegetación, la geología y la topografía, pero también por el manejo de los sistemas agrícolas y sus medidas de conservación versus los sistemas agrícolas convencionales²⁸.

Para ver el efecto de prácticas sostenibles después del huracán, un estudio realizado en 1804 fincas de 360 comunidades de 24 departamentos de Guatemala, Honduras y Nicaragua, exploró las condiciones bajo las cuales las prácticas sostenibles se correlacionarían con la resiliencia agroecológica. A través de equipos técnicos formados por productores, se midieron indicadores de resistencia agroecológica en parcelas con-



Las prácticas agroforestales pueden reducir el impacto de las lluvias extremas

convencionales y agroecológicas, comparando fincas vecinas, ubicadas en la misma cuenca, la misma ladera, con la misma orientación cardinal y bajo las mismas condiciones topográficas, midiendo indicadores tales como capa fértil, presencia de cárcavas, derrumbes, erosión, daños a los cultivos, y ganancias netas, pero que realizaban distintas prácticas agrícolas.

Muchas de las prácticas de interés tenían 30 años de estar siendo promovidas en las zonas donde se condujo este estudio debido a escuelas de Campesino a Campesino²⁹. Algunas de estas prácticas agroecológicas son:

- Prácticas de conservación de suelos y agua, tales como las barreras en contorno, zanjas, y terrazas de piedra, barreras vivas, surcos intensivos en labranza mínima, práctica de cultivar y abonar solamente y permanentemente en el surco.
- Plantas de Cobertura: las leguminosas y otras especies asociadas o en relevo en el cultivo principal para fijar nitrógeno, producir abono verde y proteger al suelo.
- Agroforestería, práctica de cultivar árboles en la parcela para leña, comida, pasto, madera, fruta y materia orgánica, y para reducir el deslave.
- Manejo Integral de Plagas, técnicas que cultivan plantas e insectos benéficos en la parcela para proteger el cultivo de plagas dañinas.

Las prácticas de agricultura convencional en estas zonas fueron:

- Roza y quema · Arar a favor de la pendiente
- Uso de insumos externos (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, semilla híbrida)



El uso de árboles dispersos y de las barreras vivas son prácticas sostenibles que redujeron el daño provocado por el huracán Mitch.

Las prácticas sostenibles redujeron los daños del huracán significativamente a través de la incorporación de materia orgánica, la protección que brindaron los árboles incorporados en las parcelas, y las prácticas de conservación de suelos. El estudio identificó tendencias claras en cuanto las diferencias de resistencia agroecológica entre las parcelas. En los tres países, la agricultura sostenible tendió a mostrar valores más positivos que la convencional, especialmente en más capa fértil, menos erosión, y menos pérdidas (o más ganancia)³⁰.

6. Mensajes clave

Existe una complejidad de relaciones entre seres vivos y sus procesos en el ambiente. Debemos tomar conciencia de la importancia de los servicios que proveen tanto los ecosistemas naturales como los agroecosistemas, sus intrincadas relaciones, y la importancia de las decisiones en la agricultura para con ello. Esto es particularmente importante en el contexto de cambio climático en que vivimos. Estas son algunas de las ideas claves de este módulo:

- La vida, incluyendo la actividad humana, depende de los servicios ecosistémicos, que son bienes y servicios que la naturaleza provee a partir de procesos complejos que se relacionan entre sí.
- La agricultura se beneficia directamente de los servicios ecosistémicos, como la polinización, el mantenimiento del suelo, la regulación de plagas, la provisión y regulación del agua, y otros procesos fundamentales.
- La manera en que los sistemas agrícolas son manejados tienen impactos en la provisión de servicios ecosistémicos. El uso de buenas prácticas puede asegurar la continua provisión de servicios ecosistémicos, y el mal manejo puede afectar negativamente esta provisión.
- Las buenas prácticas agrícolas propician que la agricultura provea servicios ecosistémicos de buena calidad a otros sistemas e individuos.
- El cambio climático tiene consecuencias en las funciones fundamentales de los ecosistemas para la agricultura, tales como la provisión del agua, la regulación de plagas, y el amortiguamiento de eventos extremos. Es un reto para nosotros promover el uso de buenas prácticas que ayuden a los agroecosistemas de los pequeños productores a reforzar la resistencia y reducir los aspectos que los hacen vulnerables.
- Estamos a tiempo para tomar acciones para mejorar o restaurar los agroecosistemas, al mismo tiempo que realizamos prácticas que nos ayuden a adaptarnos al cambio climático y mantener los servicios vitales para la agricultura.



7. Glosario

Agregados: Masa de partículas formada natural o artificialmente.

Áreas de recarga hídrica: Parte de la cuenca hidrográfica en la cual, por las condiciones climatológicas, geológicas y topográficas, una gran parte de las precipitaciones se infiltran en el suelo, permitiendo que el agua alimente los acuíferos en las partes más bajas de la cuenca. Este proceso ocurre de manera natural cuando la lluvia se filtra hacia un acuífero a través del suelo o roca.

Asociaciones simbióticas: Simbiosis: Mutualismo. Generalmente, aquella asociación entre dos organismos diferentes que representa una ventaja para ambos.

Autoregulación: Proceso dentro de un sistema ecológico, encargado de corregir o regular la información por sí mismo dentro de su sistema ecológico.

Bioporos: Un macroporo originado del deterioro de las raíces, de la actividad de los gusanos o de otro agente biológico.

Biosfera: Parte del sistema terrestre que comprende todos los ecosistemas y organismos vivos en la atmósfera, en la tierra (biosfera terrestre), o en los océanos (biosfera marina), incluida materia orgánica muerta derivada (por ejemplo, basura, materia orgánica en suelos y desechos oceánicos).

Cánones: Cantidad de dinero que se satisface por el uso de un proceso tecnológico o una marca.

Cárcavas: Hoya o zanja grande producto de la erosión hídrica.

Comunidad biótica: Comunidad biológica. Especies que ocupan una localidad dada y las interacciones que mantienen entre ellas.

Condensación: Proceso en el cual el vapor (gas) se convierte en gotas diminutas (líquido).

Condicionalidad de pago: Dependencia de los pagos de la entrega de los beneficios de los servicios ecosistémicos.

Damnificados/as: Personas que han sufrido grave daño de carácter colectivo, por ejemplo, después de un evento extremo del clima.

Diversidad genética: El número total de características genéticas dentro de cada especie.

Domesticar: Especie domesticada: Especie cuyo proceso de evolución ha estado bajo la influencia del ser humano, con el fin de satisfacer sus necesidades.

Enemigos naturales: Cualquier organismo que se alimenta de otro es conocido como su enemigo natural. Se pueden categorizar en predadores, parasitoides y entomopatógenos.

Enfoque de mercado: Relativo a todo el proceso de la promoción del producto, esto incluye la publicidad, relaciones públicas y servicios de información, así como la distribución y venta en mercados nacionales e internacionales.

Herpetofauna: Grupo de fauna que incluye a los anfibios y a los reptiles.

Homogenización agrícola: Proceso del cultivo de pocas especies con base genética estrecha. Usualmente viene aunado con la aplicación de estrategias estandarizadas para el manejo de plagas y enfermedades, conduciendo a la pérdida de biodiversidad.

Humificación: Proceso de formación de ácidos húmicos y fúlvicos, a partir de la materia orgánica mineralizada influyen directamente en la fertilidad del suelo.

Infiltración: Movimiento o filtración del agua hacia abajo a través del suelo.

Micorrizas: Asociación simbiótica de un hongo con las raíces de una planta superior, mediante la cual ambos organismos se benefician. El hongo le provee minerales a las raíces y el árbol le provee alimento (carbohidratos) al hongo.

Microflora: Referente a la flora de un microhábitat, también se utiliza vagamente para referirse a formas de vida microscópicas de las plantas.

Microorganismos benéficos (del suelo): Entidades vivientes que brindan ventajas en la relación planta/suelo, tales como promoción del crecimiento vegetal, formación de micorrizas, y fijación de nitrógeno.

Mulch: Capa de materia orgánica suelta, que puede ser residuos de cosecha, hierba cortada, hojas y otros materiales similares, que se utiliza para cubrir el suelo que rodea las plantas, o que se coloca entre las hileras de plantas para proteger el suelo.

Nicho ecológico: Estrategia de supervivencia utilizada por una especie, que incluye la forma de alimentarse, de competir con otras, de cazar, de evitar ser comida.

Parasitoides: Organismo que eventualmente provoca la muerte del hospedero una vez que se ha alimentado de este durante cierto tiempo.

Secuestro de carbono: Extracción y almacenamiento de carbono de la atmósfera en sumideros de carbono (como los océanos, los bosques o la tierra) a través de un proceso físico o biológico como la fotosíntesis.

Sedimentos: Material particulado sólido, mineral y orgánico, que se asienta en la columna de agua (sedimentación) cuando las condiciones hidrográficas favorecen este fenómeno.

Sumideros de carbono: Cualquier proceso, actividad o mecanismo que retira de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de gases de efecto invernadero, en este caso el carbono atmosférico.

Tangible: Que se puede tocar, que se puede percibir de manera precisa.

Valor de mercado: El valor (usualmente monetario) de un bien o servicio determinado por el mercado.

Valor económico directo: El valor que resulta de los productos y servicios comercializados, en el que se incluyen normalmente los beneficios privados.

8. Referencias

1. Adhikari K, Hartemink A. 2016. Linking soils to ecosystem services—a global review. *Geoderma*. 262:101–11
2. Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystem. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74:19–31
3. Altieri MA, Koohafkan P. 2008. Enduring farms: climate change, smallholders and traditional farming communities, Vol. 6. Third World Network
4. Altieri MA, Nicholls CI. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*. 8(1):7–20
5. Altieri MA, Nicholls CI, Henao A, Lana MA. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35(3):869–90
6. Altman I, Low SM. 1992. Place attachment. Nueva York, Estados Unidos: Plenum Press
7. Balvanera P, Cotler H, Aburto Oropeza O, Aguilar Contreras A, Aguilera Peña M, et al. 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. In *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, pp. 185–245. Mexico D.F., México: CONABIO
8. Bauer DM, Wing SI. 2016. The macroeconomic cost of catastrophic pollinator declines. *Ecol. Econ.* 126:1–13
9. CBD. 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 30 pp.
10. Costanza D, de Groot R, Farber R, Grasso S, Hannon M, et al. 1997. The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 387(6630):253–60
11. Daily GC. 1997. Introduction: what are ecosystems services? In *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*, ed GC Daily, pp. 1–10. Washington D.C., United States: Island Press
12. Daily GC, Alexander S, Ehrlich PR, Goulder L, Lubchenco J, et al. 1997. Servicios de los ecosistemas : beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas naturales ecosystem services : benefits supplied to human societies by natural ecosystems servicios de los ecosistemas : beneficios que la sociedad recibe de los ecosistema. *Tópicos en Ecol.*, pp. 1–15
13. Dale VH, Polasky S. 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecol. Econ.* 64(2):286–96
14. DeBach P. 1974. Biological Control by Natural Enemies. Londres, Inglaterra: Cambridge University Press
15. Ellison D, Futter MN, Bishop K. 2012. On the forest cover-water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Glob. Chang. Biol.* 18(3):806–20
16. FAO. 2007. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación. Pagos a los Agricultores por Servicios Ambientales. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 236 pp.
17. FAO. 2016. Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional América Latina y el Caribe (orientaciones de política). Santiago, Chile: FAO

18. FAO Comité de Agricultura. 2003. Elaboración de un marco para las buenas prácticas agrícolas. FAO, Roma, Italia
19. Finvers MA. 2008. Ecosystem services provided by soil. In Application of e2DPSIR for analysis of soil protection issues and an assessment of British Columbia's soil protection legislation. M.Sc. Thesis. Cranfield University, UK
20. Fleiner R, Grace D, Pert PL, Bindraban P, Tharme RE, et al. 2013. Water use in agroecosystems. Manag. Water Agroecosystems Food Secur., pp. 53–67
21. Flores JC, Manzanares D. 2013. ¿cómo pagar por el ambiente?: una revisión de las experiencias de psa en olanco, honduras. Tegucigalpa
22. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016. Servicios de regulación. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity>
23. Free JB. 1993. Insect pollination of crops. Londres, Inglaterra: Academic Press. 684 pp. Segunda ed.
24. Gamboa H, Gómez W, Ibrahim M. 2009. Sistema agroforestal quesungual: una buena práctica de adaptación al cambio climático. In 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, ed C Sepúlveda, M Ibrahim, pp. 47–68. Turrialba, Costa Rica: CATIE
25. Garg N, Chandel S. 2010. Arbuscular mycorrhizal networks : process and functions. a review. Sustain. Agric. 30:581–99
26. Gliessman SR. 2006. The agroecosystem concept. In Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems, ed SR Gliessman, pp. 23–32. Boca Ratón, United States: CRC Press. second ed.
27. Gobierno de Honduras. 1999. Plan maestro de la reconstrucción y transformación nacional del gobierno hondureño
28. Holt-Giménez E. 1996. Food first: the campesino a campesino movement: farmer-led sustainable agriculture in central america and mexico
29. Holt-Giménez E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after hurricane mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. Agric. Ecosyst. Environ. 93(1–3):87–105
30. Holt-Giménez E, Chaput P, Montes AR, Rodriguez GP, Camposeco M, Zuleta M. 2000. “ midiendo la resistencia agroecológica campesina ante el huracán mitch en centroamérica .” Fundación Ford;Fundación Rockefeller;-Fundación Inter - Am. Summit;Vecinos Mundiales
31. Houghton J. 2006. Global warming : The complete briefing. Cambridge University Press. 351 pp. 3rd. editi ed.
32. Jaramillo J, Chabi-Olaye A, Kamonjo C, Jaramillo A, Vega FE, et al. 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer hypothenemus hampei: predictions of climate change impact on a tropical insect pest. PLoS One. 4(8):1–11
33. Karp DS, Mendenhall CD, Sandí RF, Chaumont N, Ehrlich PR, et al. 2013. Forest bolsters bird abundance, pest control and coffee yield. Ecol. Lett. 16(11):1339–47
34. Karsten, Heather, Vanek Steven, Zimmerer Karl, Richard G. 2016. Natural Ecosystem and Agroecosystem Comparison. Natural Ecosystem and Agroecosystem Comparison. <https://www.e-education.psu.edu/earth131/node/1183>

35. Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, et al. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Biol. Sci.* 274(1608):66, 95–96, 191
36. Lin BB. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agric. For. Meteorol.* 144(1–2):85–94
37. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ma conceptual framework. In *Current State & Trends Assessment*, ed R Hassan, R Scholes, N Ash, pp. 25–36. Washington D.C., United States: Island Press
38. Muschler RG. 2016. Agroforestry: essential for sustainable and climate-smart land use? In *Tropical Forestry Handbook*, ed L Pancel, M Köhl, pp. 3–104. Berlin, Germany: Springer-Verlag. 2nd editio ed.
39. Naylor RL, Ehrlich PR. 1997. Natural pest control services and agriculture. In *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, ed GC Daily, pp. 151–74. Washington D.C., Estados Unidos: Island Press
40. Nicholls C. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. *Agroecología*. 1:37–48
41. Odum EP. 1997. *Ecology: A Bridge Between Science and Society*. Sunderland, Inglaterra: Sinauer Associates
42. Pagiola S. 2005. Payment for environmental services in Costa Rica. EF-CIFOR workshop: Payments for environmental services Methods and design in developing and developed countries. Titisee, Germany
43. Pagiola S, Platais G. 2002. Payments for environmental services. Washington D.C., Estados Unidos
44. Pagiola S, Ramírez E, Gobbi J, de Haan C, Ibrahim M, et al. 2007. Paying for the environmental services of silvo-pastoral practices in nicaragua. *Ecol. Econ.* 64:374–85
45. Philpott SM, Lin BB, Jha S, Brines SJ. 2008. A multi-scale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agric. Ecosyst. Environ.* 128(1–2):12–20
46. Poppy GM, Chiotha S, Eigenbrod F, Harvey CA, Honzák M, et al. 2014. Food security in a perfect storm: using the ecosystem services framework to increase understanding. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 369(1639):20120288
47. Porras I, Barton D., Miranda M, Chacón-Cascante A. 2013. Learning from 20 years of Payments for Ecosystem Services in Costa Rica. Londres, Inglaterra: International Institute for Environment and Development
48. Power AG. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 365(1554):2959–71
49. Rapidel B. 2008. Bienes y servicios ambientales de la caficultura. 19 Congreso Nacional del café, Ciudad de Guatemala, Guatemala
50. Renaud, Fabrice G., Sudmeier-Rieux, Karen, Estrella M (eds). 2013. *The Role of Ecosystems in Disaster Risk Reduction*. Tokyo, Japan: United Nations University Press. 480 pp.
51. Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD. 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 101(34):12579–82
52. Rosenzweig C, Iglesias A, Epstein PR, Chivian E. 2001. Climate change and extreme weather events - implications for food production , plant diseases , and pests. *Glob. Chang. Hum. Heal.* 2(2):90–104
53. Rosset PM, Machín Sosa B, Roque Jaime AM, Ávila Lozano DR. 2011. The campesino -to- campesino agroecology movement of anap in cuba: social process methodology in the construction of sustainable peasant agriculture and food sovereignty. *J. Peasant Stud.* 38(1):161–91

54. Roubik DW. 1995. Pollination of cultivated plants in the tropics. Rome, Italy: FAO
55. Shaxon F, Barber R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Boletín Suelos la FAO, p. 105
56. Shibata R, Yano K. 2003. Phosphorus acquisition from non-labile sources in peanut and pigeonpea with mycorrhizal interaction. Appl. Soil Ecol. 24(2):133–41
57. TEEB. Ecosystem Services. <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>
58. Vandermeer J, Perfecto I, Philpott S. 2010. Ecological complexity and pest control in organic coffee production: uncovering an autonomous ecosystem service. Bioscience. 60(7):527–37
59. Vörösmarty CJ, Lévêque C, Revenga C, Bos R, Caudill C, et al. 2005. Freshwater. In ecosystems and human well-being: Current state and trends, Vol. 1, Findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment, ed R Hassan, R Scholes, N Ash, pp. 165–207. Washington D.C., Estados Unidos: Island Press
60. Wallace A. 1994. High-precision agriculture is an excellent tool for conservation of natural resources. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:45–49
61. Westerkamp C, Gottsberger G. 2002. The costly crop pollination crisis. In Pollinating Bees-The Conservation Link Between Agriculture and Nature, ed P Kevan, VL Imperatriz Fonseca, pp. 51–56. Brasília, Brasil
62. Young A. 1989. Agroforestry for soil conservation, Vol. 4. Nairobi, Kenya: CAB International-International Council for Research in Agroforestry. 284 pp.

El proyecto CASCADA (Adaptación Basada en Ecosistemas para pequeños productores de subsistencia y café en Centroamérica) forma parte de la Iniciativa Internacional de Protección del Clima (IKI). El Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB) apoya esta iniciativa con base en la decisión adoptada por el Bundestag de la República de Alemania.

Más información del proyecto en:
www.conservation.org/cascade-espanol

Fomentado por el:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania