



Módulo 4

Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)

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

CONSERVACIÓN
INTERNACIONAL



CATIE

Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

Módulo 4

Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)



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)

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

Rolando Cerda (CATIE, 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)

Carlos Soto (Consultor independiente, Costa Rica)

Rogelio Villarreyña (CATIE, Costa Rica)

Ilustraciones y diagramación

Olman Bolaños Vargas

Cita recomendada

Martínez-Rodríguez, M.R., Viguera, B., Donatti, C.I., Harvey, C.A. y Alpizar, F. 2017. Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE). 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.

Contenido general

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
Módulo IV	Cómo enfrentar el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)
	1. Soluciones al cambio climático en la agricultura: Prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas. 2. Prácticas de Adaptación basada en ecosistemas (AbE) que pueden ayudar a los pequeños productores a adaptarse al cambio climático 3. Mensajes clave

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 4.2.

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...

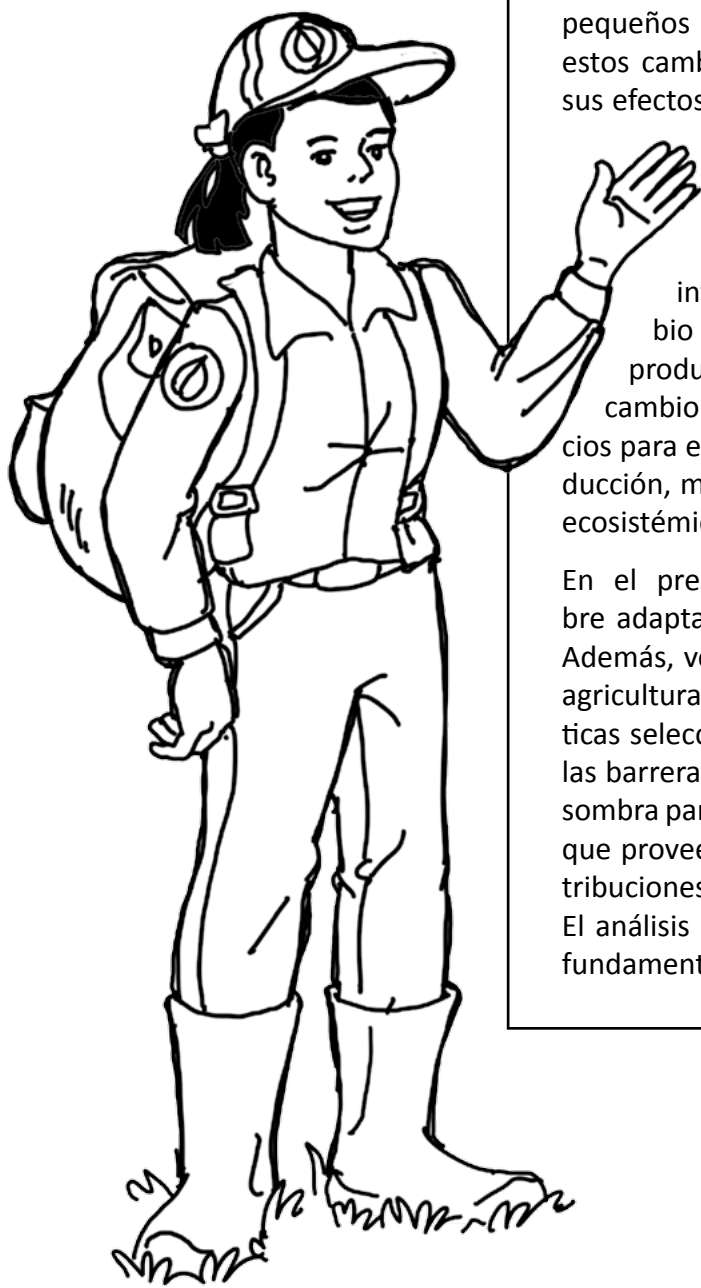
En todo el manual encontrarán ejemplos y casos específicos que ilustran los contenidos del módulo, para la realidad de Centroamérica y los sistemas de cultivo de café y granos básicos.

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 cambio climático está afectando a las comunidades y familias rurales, sus agroecosistemas y su producción agrícola. La adopción de prácticas de adaptación por parte de los pequeños productores en sus fincas, propiciará su ajuste ante estos cambios del clima y les ayudará a estar preparados ante sus efectos negativos. En este panorama, una opción viable para los pequeños productores son las estrategias de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). Estas prácticas aprovechan los recursos naturales y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia integral de adaptación a los efectos adversos del cambio climático. A través su aplicación en la agricultura, los productores tienen la posibilidad de ser más resilientes al cambio climático y al mismo tiempo obtener otros co-beneficios para ellos y su comunidad, tales como estabilidad en su producción, mejoras en sus medios de vida, y provisión de servicios ecosistémicos a largo plazo.

En el presente módulo repasaremos algunos principios sobre adaptación y aprenderemos los conceptos clave de la AbE. Además, veremos la importancia de las prácticas de AbE para la agricultura de pequeña escala, y analizaremos una serie de prácticas seleccionadas: el sistema Quesungual, las coberturas vivas, las barreras vivas, las cortinas rompevientos, las cercas vivas y la sombra para el café. Nos enfocaremos en los beneficios generales que proveen estas prácticas, sus limitaciones, así como sus contribuciones para la adaptación y mitigación del cambio climático. El análisis detallado de estas prácticas por parte de técnicos es fundamental para su difusión entre los pequeños productores.

Contenido

1. Soluciones al cambio climático en la agricultura:	
Prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas.....	7
1.1. Recordemos, ¿qué es la adaptación al cambio climático?.....	7
1.2. La Adaptación basada en Ecosistemas.....	8
1.3. Adaptación basada en Ecosistemas para pequeños productores.....	10
2. Prácticas de Adaptación basada en ecosistemas (AbE) que pueden ayudar a los pequeños productores a adaptarse al cambio climático.....	12
2.1. El sistema Quesungual y árboles dispersos.....	12
2.2. Coberturas vivas.....	17
2.3. Barreras vivas.....	19
2.4. Árboles sembrados en línea: cercas vivas y barreras o cortinas rompevientos.....	21
2.5. Cercas vivas.....	23
2.6. Sombra en el café.....	26
3. Mensajes clave.....	31
4. Glosario.....	33
5. Bibliografía.....	35

Soluciones al cambio climático en la agricultura: Prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas

I.1. Recordemos, ¿qué es la adaptación al cambio climático?

La adaptación es el proceso de ajuste de los sistemas agrícolas y las personas a los efectos reales o esperados del clima. A través de esos ajustes, se puede moderar o evitar el daño o aprovechar sus oportunidades beneficiosas³⁰. En algunos sistemas, la intervención humana puede facilitar la adaptación a los efectos esperados del cambio climático. En el módulo 2, vimos como las medidas de adaptación pueden ser organizadas en tres categorías generales: sociales, institucionales y estructurales o físicas.

Las medidas de adaptación social son aquellas relacionadas a la educación o al comportamiento, tal como la concienciación acerca del cambio climático y la implementación de planes de emergencias. Las medidas institucionales son las relacionadas a incentivos, regulaciones y políticas, tales como programas de manejo de agua o esquemas de seguros. Las medidas estructurales de adaptación se refieren a capital físico; pueden incluir sistemas eficientes de riego y la restauración de los ecosistemas, entre otros⁴⁶.

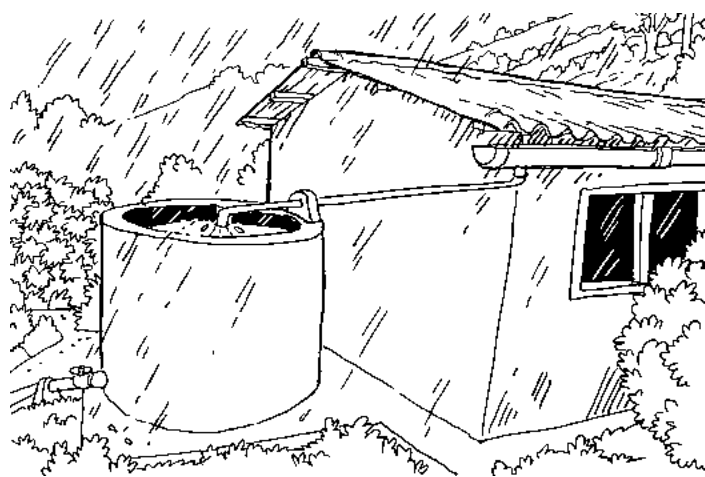


La provisión de información climática actualizada es un ejemplo de una medida social de adaptación al cambio climático.

Las medidas institucionales, tales como la creación de un sistema de seguros agrícolas, son una manera de ayudar los productores a lidiar con los impactos del cambio climático en su producción.

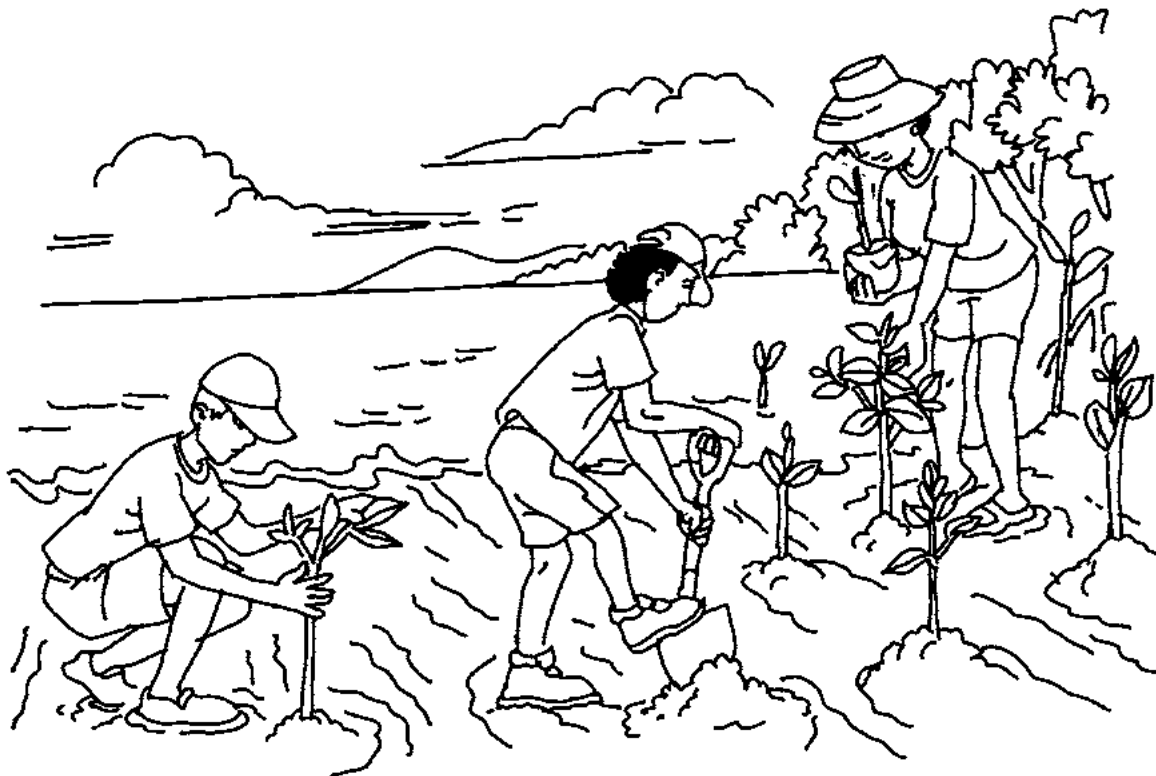
Las medidas de infraestructura, tales como tanques para cosecha y almacenamiento de agua y mecanismos para su uso eficiente, como la instalación de riego por goteo, pueden ser usadas para mantener la producción estable en épocas muy secas. Un tipo de adaptación física que ha recibido atención recientemente y que puede ser implementada tanto en ecosistemas naturales

Estas medidas pueden usarse para ayudar a los productores agrícolas a adaptarse a los impactos negativos del cambio climático. Por ejemplo, medidas sociales como proveer información climática actualizada y recomendaciones técnicas sobre el cambio de fechas de siembra en los cultivos anuales son maneras de lidiar con impactos del cambio climático en la fenología de las plantas. La disponibilidad de variedades resistentes y tolerantes es una manera de lidiar con los cambios en el área de plagas y enfermedades, y para soportar los eventos extremos como cambios bruscos de temperatura.



La cosecha y almacenamiento de agua es un ejemplo de medida de infraestructura para adaptarse al cambio climático

como agroecosistemas es la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). Además de los beneficios adaptativos que confiere, este enfoque puede proveer **co-beneficios** económicos, sociales y ambientales a la sociedad, difiriendo así de otros enfoques de adaptación. Aparte de los múltiples beneficios que puede proveer, la AbE tiene el potencial de ser costo-efectiva y es considerada una **medida robusta** de adaptación al cambio climático. Algunos ejemplos de la implementación de AbE en ecosistemas naturales incluye la reforestación de cuencas para asegurar la continuidad de la provisión de agua en condiciones climáticas cambiantes; un ejemplo en agroecosistemas es el uso de árboles de sombra en las plantaciones cafetaleras para amortiguar los impactos del aumento de temperatura, y que más adelante analizaremos otros co-beneficios.



La siembra de mangle para estabilizar limos es una práctica de AbE

1.2. La Adaptación basada en Ecosistemas

La Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) se define como el uso de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como parte de una estrategia integral de adaptación ante los efectos adversos del cambio climático⁶⁵. Las prácticas de AbE incluyen actividades de conservación, restauración y manejo sostenible de los ecosistemas naturales y **antropogénicos** para ayudar a las personas a adaptarse al cambio climático.

La AbE puede ser aplicada en ecosistemas distintos, por ejemplo en ecosistemas costeros (manglares, humedales), bosques secos o lluviosos, o bosques nubosos y de montaña. Algunos ejemplos muy reconocidos de la AbE incluyen la conservación o siembra de manglares para la estabilización de limos⁷² y protección de la zona costeras, la restauración de humedales para evitar inundaciones aguas abajo durante huracanes y otros eventos extremos, y en el manejo integrado de cuencas para asegurar la provisión de agua a comunidades y terrenos agrícolas durante todo el año, aun en momentos de sequía.

En los sistemas y paisajes agrícolas y pecuarios, las prácticas que consideramos de AbE son aquellas que aprovechan los procesos naturales, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos para ayudar a los sistemas agropecuarios y a los productores a adaptarse al cambio climático. Estas son prácticas de manejo sostenible que ayudan a los productores a responder a las amenazas e impacto del cambio climático (cambios en el rendimiento, cambios fisiológicos en las plantas, baja en la calidad del producto, incidencia de plagas y

enfermedades, etc.), y permiten que sus fincas sean resilientes al impacto actual y futuro tanto de los cambios graduales de temperaturas y en los regímenes de precipitación, como a los eventos extremos del clima (sequías, inundaciones, huracanes, etc). Entre estas prácticas se encuentran las medidas de conservación y restauración de ecosistemas naturales, y el manejo sostenible del agroecosistema. Ambas prácticas ayudan a los productores a responder a las amenazas e impactos del cambio climático y mejoran su resiliencia.

Como veremos más adelante, hay una gran variedad de prácticas AbE que pueden ser aplicadas en los sistemas y en los paisajes agropecuarios. Ejemplos de ellas son el uso de cortinas rompevientos para amortiguar el efecto de los vientos extremos, el uso de árboles en plantaciones de granos básicos para amortiguar los aumentos en temperatura y la conservación de bosques ribereños para mantener la provisión de agua dentro de comunidades rurales.



El uso de cercas vivas es una práctica de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE).

Las prácticas AbE pueden ser implementadas a distintos niveles:

- **A nivel de parcela individual:** el uso de sombra en cafetales, la inclusión de árboles dispersos en milpas, o el uso de diversas variedades en la misma parcela para minimizar el posible impacto del cambio climático sobre el cultivo son ejemplos de prácticas AbE que pueden ser implementadas a nivel de parcelas.
- **A nivel de finca:** algunos ejemplos son la diversificación de cultivos para minimizar la vulnerabilidad del productor ante la posibilidad de eventos extremos^{32,35,62}, el establecimiento de cortinas rompevientos para minimizar el impacto de vientos fuertes sobre cultivos o el uso de sistemas agroforestales o sistemas silvopastoriles para amortiguar los impactos del incremento de la temperaturas sobre los cultivos o animales.
- **A nivel de paisajes o cuencas:** las prácticas AbE pueden incluir la conservación de áreas boscosas en cuencas clave o alrededor de fuentes de agua para asegurar la provisión continua de agua ante la variabilidad climática.

I.3. Adaptación basada en Ecosistemas para pequeños productores

Los pequeños productores son particularmente vulnerables, al cambio climático, debido a su dependencia de la agricultura de secano, su poco acceso a apoyo técnico y a crédito, su ubicación en tierras marginales (a menudo suelos de mucha pendiente y propensa a la erosión), su falta de **capital social** o falta de **capital financiero** para invertir en sus fincas o adoptar nuevas tecnologías. Aunque las prácticas AbE pueden ser útiles para productores de diferentes escalas y cultivos, hay varias razones por las cuales las opciones AbE podrían ser especialmente ventajosas para ayudar a los pequeños productores a adaptar su producción y para minimizar los efectos del cambio climático y los eventos extremos. Las prácticas de AbE deben ser parte de cualquier programa de adaptación dirigido a este sector vulnerable.

Las prácticas de AbE se pueden considerar aptas para pequeños productores porque, al basarse mayoritariamente en insumos locales, son de fácil acceso, pueden ser usadas fácilmente por los productores, sin necesidad de conocimiento tecnológico complejo o materiales difíciles de conseguir. Estas prácticas deben ser baratas para su implementación, de manera que los pequeños productores puedan llevarlas a cabo sin depender de financiación externa e insumos. Estas prácticas pueden ayudar a los productores a adaptarse tanto a largo plazo (por medio del aseguramiento de la provisión de los servicios ecosistémicos) así como a corto plazo ayudándoles a ajustarse a la variabilidad climática (mejorando la resiliencia de sus unidades de producción ante eventos extremos⁷⁴).



El intercambio de semillas enriquece la biodiversidad agrícola del sistema de los productores, y puede ayudarles a adaptarse al cambio climático.

Para que podamos asegurarnos de que una práctica de AbE es apropiada para los pequeños productores, es necesario que cumpla con criterios de tres dimensiones:

- 1) que efectivamente esté basada en ecosistemas, es decir, en el aprovechamiento de los bienes y servicios que provee la naturaleza;
- 2) que provea beneficios de adaptación ante el cambio climático y además,

3) que complemente los medios de vida de los productores. Este énfasis es especialmente importante para brindar mayor capacidad adaptativa, más allá de la parte biofísica del sistema productivo. La tabla 1 resume estas dimensiones y provee criterios que ayudan a catalogar las prácticas como AbE.

Tabla 1.

Síntesis de las tres dimensiones y los criterios necesarios que las prácticas agrícolas deben tener para ser consideradas como prácticas de Adaptación Basada en Ecosistemas (AbE) apropiadas para los pequeños productores. Las prácticas que cumplan al menos con un criterio en las dimensiones “basado en ecosistemas” y “beneficios de adaptación” pueden ser consideradas prácticas AbE. Las prácticas que además cumplen con un criterio en la tercera dimensión (“seguridad de medios de vida”) son prácticas AbE apropiadas para pequeños productores.

	Dimensión 1 Basado en ecosistemas	Dimensión 2: Beneficios de adaptación	Dimensión 3: Subsistencia segura
Criterios	<ul style="list-style-type: none"> • Es basado en la conservación, restauración y manejo sostenible de la biodiversidad (ej. Diversidad genética, especies y del ecosistema). • Es basado en la conservación, restauración y manejo sostenible de las funciones y procesos ecológicos (ej. ciclo de nutrientes, infiltración del agua, secuestro de carbono, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantiene o mejora la productividad de los cultivos, la productividad de los animales y de la parcela para enfrentar la variabilidad climática y el cambio climático. • Reduce los impactos biofísicos de eventos climáticos extremos (lluvias extremas, temperaturas extremadamente altas, vientos fuertes, etc.) en los cultivos, animales o sistemas agrícolas. • Reduce el riesgo de plagas y enfermedades en el cultivo debidas al cambio climático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa la seguridad alimentaria de los hogares de los pequeños productores. • Incrementa o diversifica la generación de ingresos en los hogares de los pequeños productores. • Aprovecha el conocimiento local o tradicional de los pequeños productores. • Usa insumos locales, disponibles y renovables (ej. uso de materiales locales de la parcela o el paisaje, en vez de recursos externos como pesticidas y fertilizantes sintéticos, etc.) • Requiere costos de implementación y mano de obra asequibles para los pequeños productores.

Traducido de Vignola *et al* ⁷⁴

2.

Prácticas de Adaptación basada en ecosistemas (AbE) que pueden ayudar a los pequeños productores a adaptarse al cambio climático

A continuación se reseñan una serie de prácticas AbE que cumplen con los criterios anteriormente citados, y que son particularmente importantes para los productores de café y granos básicos de Centroamérica, al ser sencillas de implementar, proveer beneficios de adaptación y tener múltiples co-beneficios para el productor.

2.1. El sistema Quesungual y árboles dispersos

El sistema Quesungual o Kuxur Rum (mi tierra húmeda en lengua Chort'i⁵⁷) está basado en una práctica que consiste en sembrar el cultivo anual en combinación con árboles dispersos (muchas veces leguminosos) que han sido seleccionados de la regeneración natural. Tradicionalmente esta práctica involucra el cultivo de maíz y frijol, pero actualmente también incluye el asocio de otros cultivos tales como el sorgo (*Sorghum vulgare*) y el melón (*Cucumis melo*)⁶³. Este sistema agroforestal ha sido practicado ancestralmente por las culturas tradicionales de Centroamérica, especialmente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua¹².

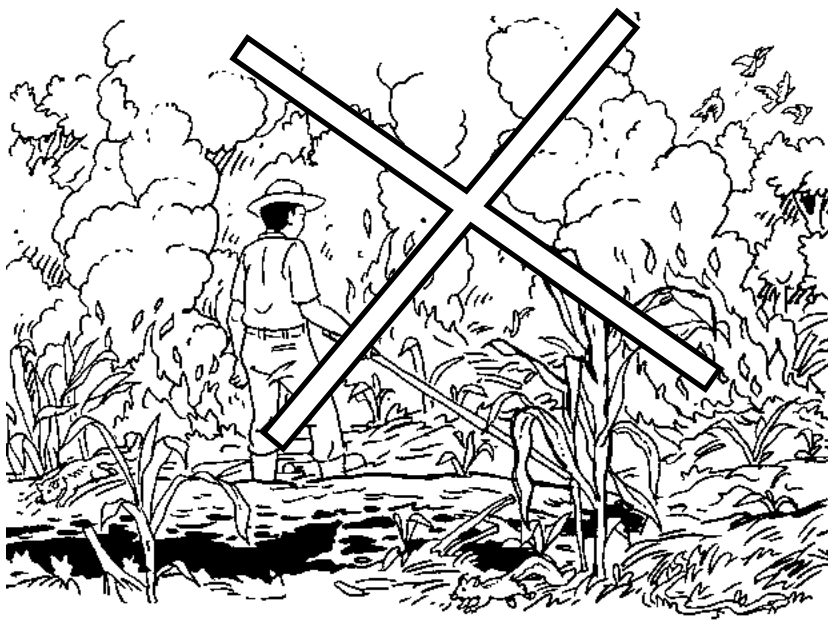
El sistema agroforestal Quesungual integra tecnologías de manejo de suelo y de cultivos con árboles dispersos de regeneración natural, y tiene múltiples beneficios para el pequeño productor, que veremos más adelante.

Hay cuatro principios básicos en el establecimiento y mantenimiento del Quesungual:

1. No tala y no quema: se realiza un manejo de tala y poda parcial, selectivo y progresivo de la vegetación natural. Cuando el productor no quema, está permitiendo que se acumulen los residuos de la cosecha, aquellos que al descomponerse se convierten en materia orgánica, mejorando las condiciones físico-químicas del suelo donde se cultiva²³

2. Cobertura permanente del suelo: depósito y distribución continuos de la cobertura (mulch) proveniente de biomasa de los árboles, arbustos, malezas y residuos de cultivos.

3. Mínima perturbación del suelo: otro principio para el establecimiento y mantenimiento del Quesungual es la baja perturbación del suelo, a través de técnicas de “cero labranza” a lo largo de la estación de cultivo y la siembra directa de la semilla, a través de espeque, chuzo o bordón.



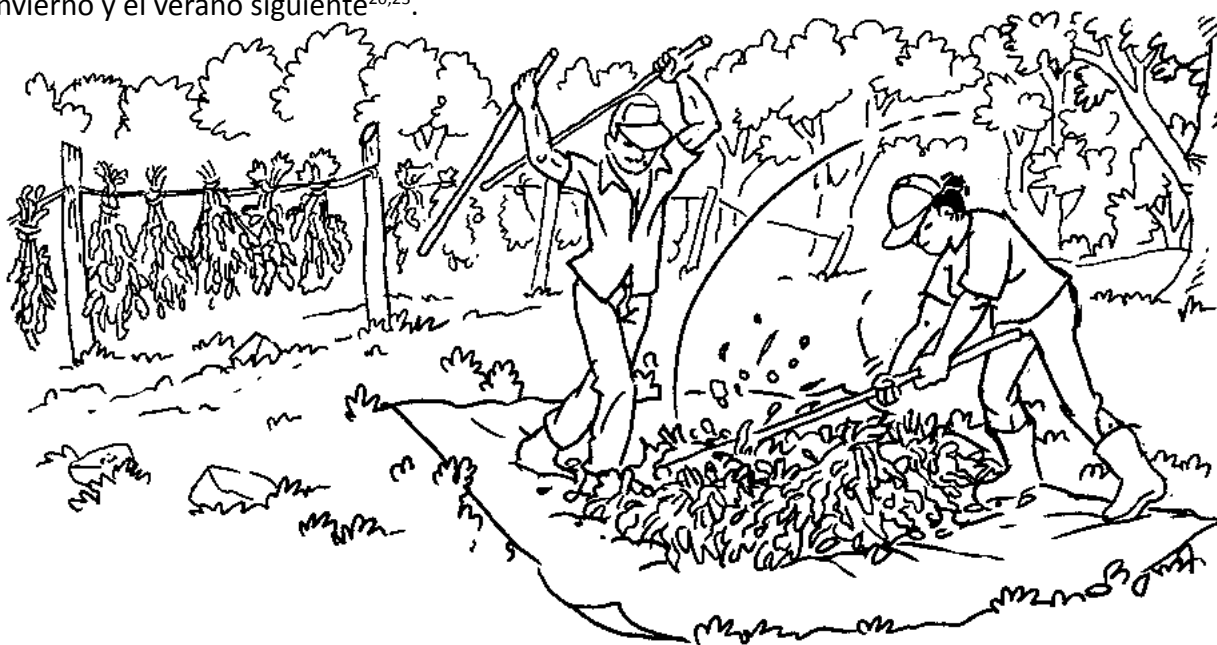
La no quema es uno de los principios de establecimiento del sistema Quesungual

4. Uso eficiente de fertilizantes: realizar la fertilización de manera eficiente, utilizando dosis precisas (ni más ni menos fertilizante que el necesario), colocar el fertilizante en el lugar correcto para la absorción de la planta y evitar fertilizar cuando no está lloviendo, son parte de las buenas prácticas agrícolas que este sistema requiere para su funcionamiento¹⁵.

La parcela con esta práctica está conformada con árboles y arbustos podados con una densidad promedio entre 11 a 14 árboles/ha, pero puede llegar hasta 140 árboles/ha, los cuales son de importancia para los medios de vida de los productores por su valor en madera y fruta²³. Es un sistema diverso, donde la selección de los árboles de regeneración depende de los objetivos y capacidades de manejo del productor⁵⁴. Un manejo adecuado del sistema permite mantener la fertilidad del suelo, así como la sostenibilidad de largo plazo del sistema.

Para establecer este sistema, los productores seleccionan un guamil o barbecho que haya estado en descanso entre seis a doce años, con árboles de un **DAP** mayor a diez centímetros y arbustos con más de un metro de altura. La presencia de árboles y arbustos de estos tamaños indica que la parcela ha recuperado su fertilidad, por la biomasa producida por los árboles y arbustos en ese período^{20,54} y puede ser utilizado de nuevo para el cultivo de forma sostenible.

Para el establecimiento, el cual se realiza antes del inicio de las lluvias fuertes, se siembra al voleo (en una distribución no uniforme) frijol, maicillo o sorgo; posteriormente se chapea el terreno, cortando las malezas al ras del suelo y luego se realiza una poda de los árboles de acuerdo al interés del productor, realizando podas de formación y raleos²⁰. Los arbustos como el guayabo (*Psidium guajava*), madreño, madero negro o mata ratón (*Gliricidia sepium*), chaperno (*Lonchocarpus officinales*) y otros, se podan a una altura de 1.5 a 3.0 metros, cuidando la raíz para propiciar el rebrote en el invierno. Los cortes de árboles y arbustos se realizan transversalmente (bisel, punta de lápiz o “chaflán”), para evitar la proliferación de hongos al llegar las lluvias. La leña obtenida se puede usar en el hogar. La biomasa más ligera (no leñosa) de la poda se pica y se extiende en el suelo, como un mulch, para que se descomponga y se incorpore al suelo durante el resto del invierno y el verano siguiente^{20,23}.



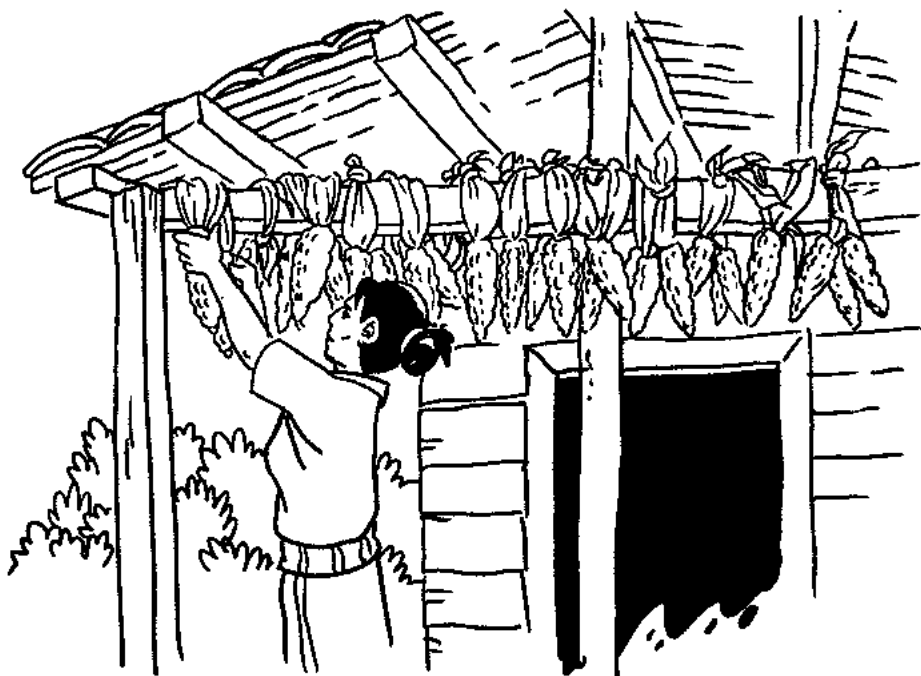
Cuando se realiza la cosecha del frijol, se deja que este se seque en mazos o manojos de plantas sobre los arbustos podados hasta que se sequen, de modo que sea fácil aporrearlos. Los rastrojos producidos se dejan en la parcela. La cosecha de la bellota de sorgo se hace dejando el resto de la planta en la parcela, que luego pueden ser aprovechados para alimentar ganado o para esparcirlos en la finca²⁰.

Como manejo posterior, se realiza una chapia al inicio de las lluvias, al segundo año de la selección del guamil o barbecho. Se eliminan con machete las malezas que han crecido durante el cultivo del frijol y del sorgo. También se manejan los rebrotes de árboles y arbustos podados el año anterior. Este material nuevamente se pica y se esparce en la parcela, y la leña se aprovecha en el hogar²⁰.

Una vez que el productor tiene preparada nuevamente la parcela con esta segunda chapia y con el manejo de los rebrotes, se siembra el maíz. Este se siembra con chuzo, espeque o bordón en cero labranza, utilizando un distanciamiento de siembra de medio metro entre postura y un metro o un metro y medio entre surcos, orientados contra la pendiente, colocando de dos a tres semillas entre postura¹⁶.

2.1.1. Beneficios del uso del sistema Quesungual

En estudios llevados a cabo en Honduras¹⁶, El Salvador²³ y Guatemala⁵⁷ se observaron beneficios tanto a nivel de la producción como a nivel del paisaje. A nivel de la finca, se vieron aumentos sostenibles de la productividad, mejorando la seguridad alimentaria y el ingreso a escala doméstica, al mejorar la calidad del suelo y la retención del agua en el suelo. Además, se produjeron excedentes de alimentos de primera necesidad (maíz, frijol y sorgo), propiciando su venta en el mercado, contribuyendo al bienestar familiar. En estas zonas, los árboles son fuente importante de madera y leña. Por ejemplo, en El Salvador se encontraron árboles maderables como el laurel (*Cordia alliodora*), los cuales son valiosos comercialmente, y frutales como el mango (*Mangifera indica*), para la venta y autoconsumo del hogar, diversificando la dieta y los ingresos de la familia. Asimismo, se dio un aumento de disponibilidad de leña para el hogar, supliendo o complementando sus necesidades de energía. Así, de la misma parcela se puede obtener leña y madera (producto del manejo de la regeneración natural) y producción alimenticia, lo cual reduce la vulnerabilidad general de los productores²³.



Con el sistema Quesungual se observan aumentos sostenibles de la productividad, generando excedentes y mejorando el ingreso del hogar.

Comparado con los sistemas tradicionales de roza y quema que se llevaban a cabo en varios sitios de Centroamérica para producir granos básicos, el sistema Quesungual tiene la ventaja de que la tierra se puede aprovechar por más tiempo. Con los sistemas de roza y quema, la tierra se usa hasta cuatro años, y luego hay que dejarla descansar por más de 10 años. El Quesungual permite mejorar los rendimientos por área después de 10 años de trabajar la misma parcela, debido a que mejora la fertilidad e incrementa la humedad edáfica²⁰. Debido a la baja densidad de los árboles dispersos, no hay mucha competencia a nivel radicular entre los árboles y arbustos con los cultivos anuales, lo cual es ventajoso.

A nivel de la comunidad este aprovechamiento continuo de la tierra que brinda el Quesungual es importante. Con el sistema de roza y quema los productores trabajaban por poco tiempo una parcela y al buscar nuevas tierras, se provocaba el avance de la **frontera agrícola**, el mal uso de los recursos naturales, las emisiones de gases de efecto invernadero, y un detrimento para la seguridad alimentaria²⁰. El uso del sistema Quesungual, en cambio, ayudar a frenar la expansión agrícola hacia los bosques remanentes.

A nivel del paisaje, con la adopción del Quesungual se observa restauración y conservación de la biodiversidad, proveyendo hábitat a aves que pueden servir de control natural de plagas. Adicionalmente, la adopción a nivel del paisaje propicia la protección de las fuentes de agua. Además, se da el mejoramiento de servicios ecosistémicos, por ejemplo el reciclaje de nutrientes, ya que algunas especies dominantes en el Quesungual, como el carbón (*Acacia pennatula*) contribuyen a la fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo a través de nódulos y a entradas de materia orgánica al sistema²³. Además, la capa formada por los residuos de poda ayuda al reciclaje de nutrientes, a mejorar la fertilidad del suelo y por ende, a un mayor almacenamiento de carbono en el suelo⁴, se reduce la erosión eólica e hídrica, gracias a esta capa, y se mantiene la humedad edáfica.

Este sistema ha permitido en muchos lugares mejorar los medios de vida de las familias productoras gracias a la estabilización en la unidad productiva en un solo lugar, permitiendo diversificar el terreno. Gracias a esta práctica aunada a la diversificación, se logran cosechas para la alimentación del hogar y venta del excedente. Gracias a esta venta de excedentes, se obtienen ingresos adicionales para la educación de los hijos o compra de productos no generados en la finca. El tiempo y esfuerzo que tradicionalmente las mujeres dedican a conseguir leña se redujo, ya que esta se puede obtener del Quesungual²⁰, de modo que pueden distribuir su día en otras actividades.



El sistema Quesungual aunado a una estrategia de diversificación se puede ayudar a la seguridad alimentaria del hogar.

2.1.2. Contribución del uso sistema Quesungual a la adaptación y mitigación del cambio climático

La sombra que provee este sistema agroforestal ayuda a regular las temperaturas y mejora la productividad del sistema, especialmente durante la fase de establecimiento de los cultivos⁷³. Esto es muy importante en las zonas semiáridas que además están enfrentando el aumento de la temperatura y la reducción de las cosechas. En el panorama futuro de condiciones ambientales más calientes, la sombra de los árboles perennes de este sistema podría compensar las disminuciones en los rendimientos, causadas por el exceso de calor en áreas abiertas y además, contribuir a minimizar el estrés hídrico¹².

Además, el Quesungual ha mostrado resiliencia a eventos extremos del clima. En el caso de la lluvia extrema, la cobertura permanente del suelo hace que el impacto de la gota sea menor, y se reduzca la compactación del suelo²³. En épocas de sequía, los productores que implementaron el sistema agroforestal Quesungual en Honduras resistieron periodos largos sin lluvias, en comparación con los que no tenían implementado este sistema, quienes sufrieron daños mayores²⁰. El potencial del sistema Quesungual de mantener humedad en el suelo es particularmente importante en periodos largos de sequía como consecuencia del fenómeno de El Niño, que traen como consecuencia la pérdida de las cosechas. La cobertura del suelo y la incorporación de materia orgánica que se realiza a través del Quesungual también reducen la pérdida de suelo por erosión, especialmente en terrenos en pendiente.

2.1.3. Limitaciones del sistema Quesungual

Una de las limitaciones del sistema Quesungual es que los árboles y arbustos atraen diversidad de pájaros y algunas de estas especies pueden dañar los cultivos. Esto es más evidente en lugares donde no hay muchos productores usando el sistema, afectando las fincas donde sí hay Quesungual, pues los árboles proveen en ese caso un hábitat limitado para las aves. En los lugares donde el uso del sistema se ha generalizado, los pájaros se dispersan en toda la zona, y los daños a un mismo cultivo son mínimos²⁰.

El sistema de Quesungual requiere preparación del terreno a mano, con chuzo, espeque o bordón como parte de la cero labranza, lo cual puede ser muy demandante en mano de obra. El Quesungual no permite la preparación de los suelos con arado o tracción animal, ya que el terreno tiene muchas raíces de plantas leñosas, por lo que es imposible el movimiento del arado²⁰.



La siembra con espeque, chuzo o bordón es clave para el sistema Quesungual, y puede ser altamente demandante de mano de obra.

Un mal manejo del sistema Quesungual puede traer desventajas. Si la densidad de los árboles es muy alta y no hay un buen raleo de la poda, se retiene humedad en la época lluviosa. Esto puede convertirse en un problema que afecte al maíz y los frijoles, que pueden ser atacados por hongos en ese microclima de humedad²⁰. También dependerá del manejo la cantidad de sombra que el sistema tenga. Si la sombra no es bien manejada, puede haber una disminución de los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, los beneficios económicos de la explotación comercial de los árboles pueden compensar el rendimiento de los cultivos²⁰.

2.2. Coberturas vivas

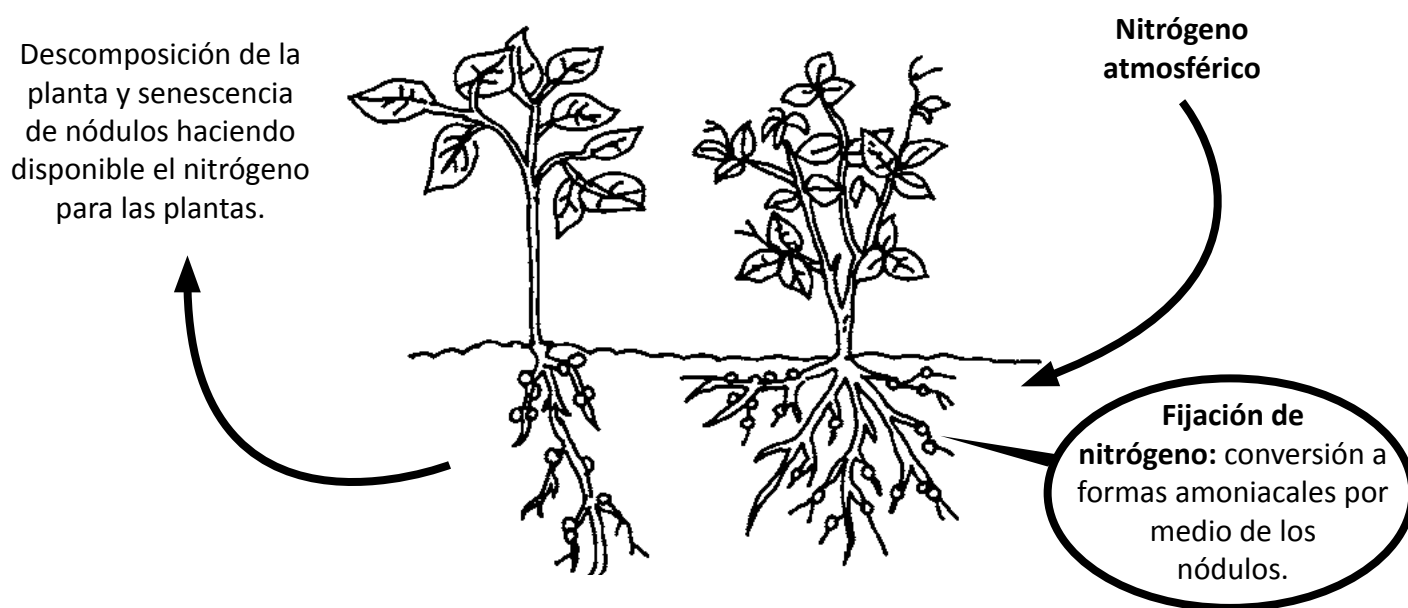
Los cultivos de cobertura son especies herbáceas introducidas para proporcionar servicios beneficiosos para el agroecosistema. Aunque los cultivos de cobertura pueden pertenecer a cualquier familia de plantas, la mayoría son leguminosas³³, como ej., frijol canavalia (*Canavalia ensiformis*), frijol terciopelo (*Mucuna deeringiana* y *Mucuna pruriens*).

Los cultivos de cobertura se prestan para sistemas de bajos insumos externos, y la adopción de los mismos es especialmente importante en lugares donde varias limitantes pueden ser solucionadas a la vez por el cultivo de cobertura (por ejemplo, baja fertilidad del suelo, alta infestación de malezas y severa erosión del suelo). Los cultivos de cobertura son una tecnología de fácil disseminación; el productor no requiere mucha información para poder establecerlo⁵⁸.

2.2.1. Beneficios del uso de las coberturas vivas

Uno de los beneficios de las coberturas vivas es que muchas especies leguminosas (ej., frijol canavalia, frijol terciopelo, entre otras especies)^{50,38} tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y pueden ayudar a mejorar la fertilidad del suelo, por medio de la liberación directa del nitrógeno amoniacal, la senescencia de los nódulos de **micorrizas** y la descomposición de la planta cuando termina su ciclo de vida⁶⁰. Los beneficios de este aporte son claros a partir del segundo año de la siembra de la leguminosa, cuando ya se ha desarrollado esta relación⁵⁶. Al incorporar coberturas vivas, se necesitan menos fertilizantes nitrogenados para suplir los requerimientos del cultivo, y esto es un ahorro importante para el bolsillo del productor⁵⁶, y una contribución importante a la mitigación de los gases de efecto invernadero (GEI).

Otro beneficio importante de la cobertura viva es que su presencia contribuye a retener humedad en el suelo⁴⁸, aumentando la penetración de agua y reduciendo la pérdida por escorrentía hasta seis veces¹. Además, ayuda en la reducción de la cantidad de malezas¹⁷ por competencia. Tanto el frijol canavalia como el frijol terciopelo son resistentes al sombreado de otros cultivos y son fuertemente **alelopáticas** a ciertas malezas, por lo que son usadas como ahogadoras de malezas en cultivos asociados⁵⁶.



Los nódulos de micorrizas fijan nitrógeno atmosférico convirtiéndolo en formas útiles para las plantas.

Adicionalmente, hay consecuencias positivas del uso de la cobertura en el servicio de provisión de alimentos. Varios estudios en el sur de México muestran que el rendimiento del grano de maíz asociado con frijol canavalia comparado con maíz en monocultivo sube a partir del segundo año de asociación a 12% más de rendimiento de grano. La calidad de la biomasa del maíz cuando se cultiva con una cobertura de frijol canavalia es mejor en cantidad y calidad que cuando se siembra en monocultivo; esto es importante para la obtención de otros productos alimenticios de la finca. Los estudios indican que después de tres años consecutivos de asocio, se obtiene 23% más del total de proteína en el follaje de por hectárea, 66% más del total de rastrojo seco por hectárea y 120% más del total de proteína del rastrojo para forraje por hectárea. Este incremento de la cantidad y la calidad del rastrojo puede ser importante para el ganado, al usarse como complemento alimenticio, y para el suelo de la parcela, al incorporarse al suelo como mulch⁵⁶.



La cosecha de maíz asociado a coberturas vivas es mayor que el maíz sin coberturas.

2.2.2. Contribución del uso de coberturas vivas a la adaptación y mitigación del cambio climático

Los beneficios de las coberturas vivas son particularmente importantes en el contexto de extremos de precipitaciones a los que nos enfrentamos en Centroamérica. Los efectos de la cobertura en cuanto a control de erosión y conservación de suelos son importantes ante las lluvias extremas⁵⁶. En este contexto, la cobertura viva disminuye el impacto de las gotas de agua de lluvia en el suelo; los residuos evitan el arrastre del suelo por el flujo de escorrentía⁵⁸; y la materia orgánica adicionada mejora la infiltración del agua⁵⁶; esto es muy relevante en las zonas de ladera que suelen explotar los productores marginales. En los escenarios de sequía, esta práctica ayuda en la conservación de la humedad.

El aporte de nitrógeno que realizan las coberturas vivas leguminosas es un fertilizante natural que no generan costo de transporte, pues se cultivan en el mismo terreno, aprovechando los procesos y recursos naturales, por lo que ayuda a mitigar el uso de fertilizantes sintéticos⁵⁶.

2.2.3. Limitaciones del uso de coberturas vivas

Algunas de las desventajas del uso de coberturas vivas incluyen la reducción del rendimiento de los cultivos de granos básicos en el primer año de la asociación debido a la competencia entre los cultivos y las leguminosas de cobertura⁷⁹, aunque en algunos estudios se indica que esta merma no es significativa⁵⁶. Por otra parte, el establecimiento inadecuado del cultivo de cobertura puede facilitar la prevalencia de malezas en el maíz⁴³. En ocasiones puede requerir mayor uso de mano de obra, especialmente para establecer la cobertura viva⁴⁰. En el maíz, la severidad de algunas enfermedades, tal como la pudrición de la mazorca (Diplodia o Stenocarpella maydis) puede ser mayor debido al microclima más húmedo que propicia el cultivo de cobertura, favoreciendo el desarrollo de hongos.

2.3. Barreras vivas

Las barreras vivas son plantas sembradas en línea a distancias cortas, tales como pastos perennes de buen macollamiento, árboles y arbustos. Están sembrados en el terreno de manera perpendicular a la pendiente de la ladera siguiendo curvas a nivel⁵³. Esta práctica reduce la velocidad del agua de lluvia que se escurre por la superficie del suelo, reduciendo la erosión hídrica y la pérdida de suelo. Además, como las plantas que se usan son de crecimiento denso, retienen gran cantidad de suelo y nutrientes. Este sistema aumenta la filtración del agua ayudando a conservar por mayor tiempo la humedad en el perfil del suelo⁵⁹.

Entre las especies que se usan como barreras vivas están pastos como el king grass (*Pennisetum purpureum x P. typhoides*), zacate guinea (*Panicum maximum*), valeriana (*Vetiveria zizanioides*), zacate limón (*Cymbopogon citratus*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) u otros cultivos como piña (*Ananas comosus*), entre otras. Cada material vegetativo tiene su manera diferente de sembrarse. Para los zacates, la siembra se puede realizar en hileras dobles o al tresbolillo (pata de gallina), con distancias de 15 a 20 cm, separada una barrera de la otra según la pendiente del terreno y la clase de cultivo⁵⁹. Para optimizar la retención de agua con barreras vivas de pastos las macollas deben formar una hilera densa de plantas⁵³. Las barreras vivas suelen ser más efectivas que las medidas físicas tales como las barreras de piedra para retener el suelo, debido a su efectivo sistema de raíces permanente⁴⁵.



Las barreras vivas pueden ser más efectivas que las barreras muertas debido a su sistema radicular profundo.

También se puede sembrar barreras vivas con arbustos y árboles. Entre las especies más utilizadas para este fin se encuentran la leucaena (*L. leucocephala*), el madreño o madero negro (*Gliricidia sepium*) y el frijol gandul (*Cajanus cajan*). En el caso de las barreras vivas de arbustos y árboles pueden sembrarse de 20 a 30 cm de distancia entre sí, en hileras simples o dobles, y con un trenzado de ramas en el pie que ayuda a una mayor retención de suelo⁵⁹.

Mantener las barreras vivas es sencillo, pero se requiere la atención del productor, específicamente revisando la densidad, para que no existan espacios vacíos debido a plantas muertas o porque en terrenos muy irregulares topográficamente, pueden existir puntos de concentración del agua que dejen brechas en la barrera, lo que requiere resiembra. Para las especies de pastos, es recomendable mantenerlas a 0.75 – 1.0 m de alto para evitar que provea mucha sombra al cultivo. Tanto para los árboles como para los pastos las podas generan un rebrote vigoroso, lo cual es conveniente para su mantenimiento y así pueden retener mejor el suelo²⁴.

Las barreras vivas son de fácil adopción por parte del productor, y de fácil establecimiento y de bajo uso de mano de obra para su mantenimiento. En términos de conservación del terreno, con el tiempo las barreras vivas van formando terrazas, porque el material arrastrado se sedimenta en la parte superior de la barrera. Este es un cambio gradual que propicia la conservación del suelo¹⁸.

2.3.1. Beneficios del uso de las barreras vivas

Las barreras vivas proveen muchos beneficios a los productores. Las barreras vivas merman de manera significativa la escorrentía superficial, la erosión y pérdida del suelo⁵³. También pueden propiciar la conservación de materia orgánica, fósforo y potasio⁶⁴. Además, hay estudios que indican que los rendimientos de las parcelas con barreras de madero negro pueden ser muy superiores a las parcelas sin barreras. En un estudio que usa estas barreras vivas, a pesar de la influencia de eventos extremos como el Huracán Mitch cuando se realizó el experimento, el rendimiento de maíz fue hasta 45% superior al testigo (sin barreras vivas)⁴².

Las barreras vivas pueden ser multiuso. Dependiendo de la especie que se utilice como barrera, se pueden obtener diferentes beneficios adicionales para el productor. Por ejemplo, el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) o la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) se puede usar como forraje para el ganado o para el abastecimiento de la familia. Otras especies, como el frijol gandul, pueden servir como alimentos adicionales para la familia o las aves de corral⁵³. También puede servir para proveer ingresos adicionales sirviendo como materia prima para otros procesos. Por ejemplo, el uso de barreras vivas de sábila (*Aloe vera*) en plantaciones de café en la región occidental de Honduras, proveyó materia prima para la elaboración de jabones hechos por grupos de mujeres⁵², aparte de que es una especie medicinal.

2.3.2. Contribución del uso de barreras vivas a la adaptación y la mitigación del cambio climático

Las barreras vivas tienen beneficios tanto en caso de sequías como de lluvias extremas. Se ha visto que incrementan la humedad del suelo en los agroecosistemas de maíz: por ejemplo, en agroecosistemas de maíz en Choluteca, Honduras se observó que las barreras vivas redujeron el impacto de la sequía en las filas superiores a las barreras²⁸. También se ha visto que las barreras vivas de madreño o madero negro en granos básicos incrementaron la infiltración del agua y mejoraron la estructura del suelo en campos de granos básicos con pendientes de 40% en Nicaragua⁵⁵. Además, reducen la posibilidad que ocurra un derrumbe debido a perturbación del suelo⁷¹. Estos aspectos son importantes en un contexto de incremento de la frecuencia y severidad de lluvias extremas y sequía.

2.3.3. Limitaciones del uso de las barreras vivas

Existen limitaciones específicas en cuanto a diferentes especies utilizadas como barreras vivas. El king grass cierra bien en su base y provee forraje, pero si no se maneja correctamente puede ser invasor. La caña india (*Dracaena fragans*) tiene un sistema de raíces profundo, sosteniendo bien los taludes, pero tampoco cierra bien en su base. Existe documentación de que el madreño o madero negro ha sido hospedero de la plaga del lorito verde del frijol (*Empoasca kraemeri*, Homoptera)¹⁴ y el zacate de limón es **hospedero** del piojillo de la raíz del cafeto (*Geococcus coffea* y *Dysmicoccus brevipis*)¹⁸. Las barreras vivas de árboles como Leucaena, y madreño o madero negro tienen algunas consideraciones relacionadas a su manejo debido a su sombra. En los cultivos de granos básicos, deben de podarse al inicio de las siembras para evitar que la sombra perjudique el crecimiento del cultivo⁵³. Esta poda debe realizarse con antelación para lograr que la biomasa se degrade y se incorpore al suelo⁵¹.

Sin embargo, los beneficios que provee la práctica de barreras vivas, son mayores que sus limitaciones, y está en manos de los implementadores en el campo sopesar los factores relacionados con su eficiencia con cada especie que se use.

2.4. Árboles sembrados en línea: cercas vivas y barreras o cortinas rompevientos

Los árboles lineares son establecidos para separar parcelas, separar animales de cultivos o potreros y para proteger cultivos de vientos fuertes y erosión⁴⁵. Las cercas vivas y las barreras rompevientos tienen en común la siembra (o retención) de árboles o arbustos de manera lineal en la finca. Según la función en el ambiente, difieren en ancho, espaciamiento y la composición específica de las hileras⁴⁵.



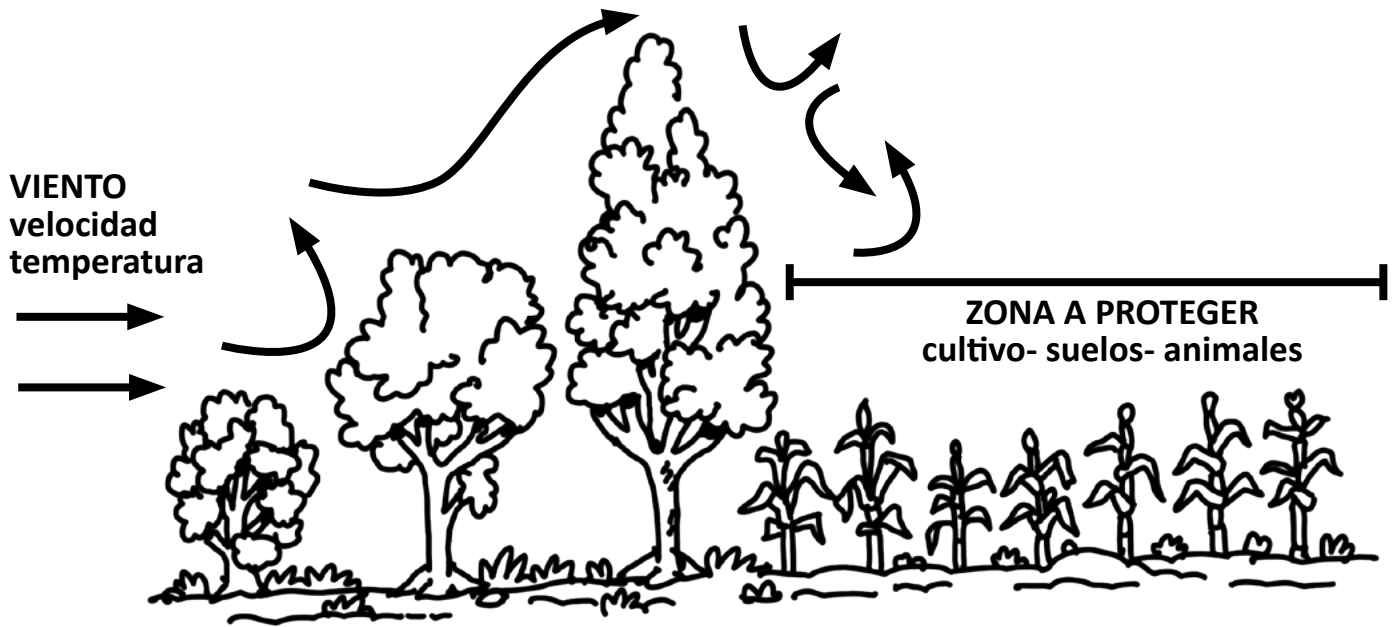
Los árboles sembrados en línea pueden proveer múltiples beneficios, como la provisión de leña para el hogar.

2.4.1. Barreras rompevientos o cortinas rompevientos

La función de las barreras rompevientos es dar protección, ya sea a los cultivos, a los animales, a las fuentes de agua, a los suelos y/o a la infraestructura de los vientos extremos⁴¹. En las zonas montañosas de Costa Rica expuestas a los vientos alisios, es común ver cortinas rompevientos establecidas en potreros, cafetales y campos agrícolas, para evitar los efectos del viento en deshidratar el suelo, dañar plantas y animales, y evitar la erosión. En general, si las zonas cafetaleras están expuestas a vientos mayores a 30 kmph, se recomienda el uso de estas barreras para evitar el daño a hojas y frutos, y reducciones en la producción.

Entre las características deseables de los árboles para barreras rompevientos están: tener una copa con follaje abundante y cerrado; poseer ramas y hojas resistentes a los vientos; tener sistema de raíces fuerte y profundo; ser de crecimiento rápido, y tener una vida larga². Entre las especies que se recomiendan para las barreras rompevientos en café están: la magnolia (*Magnolia grandiflora*), el copalchí (*Croton reflexifolius*, *Croton guatemalensis*), Jaboncillo (*Sapindus saponaria*), pimienta gorda (*Pimenta dioica*), manzana rosa (*Eugenia jambos*), el trueno (*Ligustrum japonicum*), el tubú (*Montanoa guatemalensis*) y la Casuarina (*Casuarina cunninghamiana*)².

El establecimiento de las cortinas rompevientos deben tomar en cuenta la dirección del viento, la topografía del terreno y el tipo de cultivo que se está protegiendo⁶⁸. En general, las cortinas rompevientos deben estar establecidas en dirección perpendicular a los vientos dominantes. Para un mejor funcionamiento de la barrera, las plantas de diferentes tamaños deben formar un mosaico de dos dimensiones, con una



Idealmente, una cortina rompevientos está formada por un mosaico de árboles de distintos tamaños ubicados en dirección perpendicular de los vientos dominantes.

permeabilidad de 20 a 50% de la barrera, para evitar turbulencia del lado del viento⁶⁹. Como regla general, se estima que el efecto de protección de una barrera rompevientos se extiende en la dirección del sotavento de unas ocho a diez veces la altura de la barrera (^{41en 45}).

Debe de tenerse cuidado de que las plantas de la barrera rompeviento sean compatibles con los cultivos de interés; por ejemplo, se debe evitar el uso de árboles de Neem (*Azadirachta indica*) o especies de eucalipto (*Eucaliptus spp*) y nogal (*Juglans spp*) ya que pueden tener un efecto negativo en los cultivos cercanos debido a la competencia o **alelopatía**.

2.4.2. Beneficios del uso de las barreras o cortinas rompevientos

El beneficio principal de las cortinas rompevientos es que disminuye el efecto perjudicial del viento sobre los cultivos, ganado y el suelo. También ayudan a regular el microclima de la parcela. Dependiendo de las especies utilizadas, pueden servir como importantes fuentes de producción de frutas tal como el marañón (*Anacardium occidentale*), forraje (*Prosopis sp*), leña y otros productos forestales. Los efectos de las barreras rompevientos también pueden resultar en aumentos importantes en la productividad de los cultivos de interés⁴⁵, y tener un efecto positivo en el control de plagas, por ejemplo en la *Phoma sp.* del café.



Además, a nivel del paisaje la presencia de cortinas rompevientos puede ayudar a proveer hábitat y recursos para la biodiversidad (incluyendo dispersores de semillas, polinizadores, y enemigos naturales de las plagas⁴⁵), ya que muchos animales silvestres aprovechan las cortinas rompevientos ya que brindan conectividad entre paisajes, para cruzar de un bosque a otro.

2.4.3. Contribución del uso de barreras o cortinas rompevientos a la adaptación y la mitigación del cambio climático

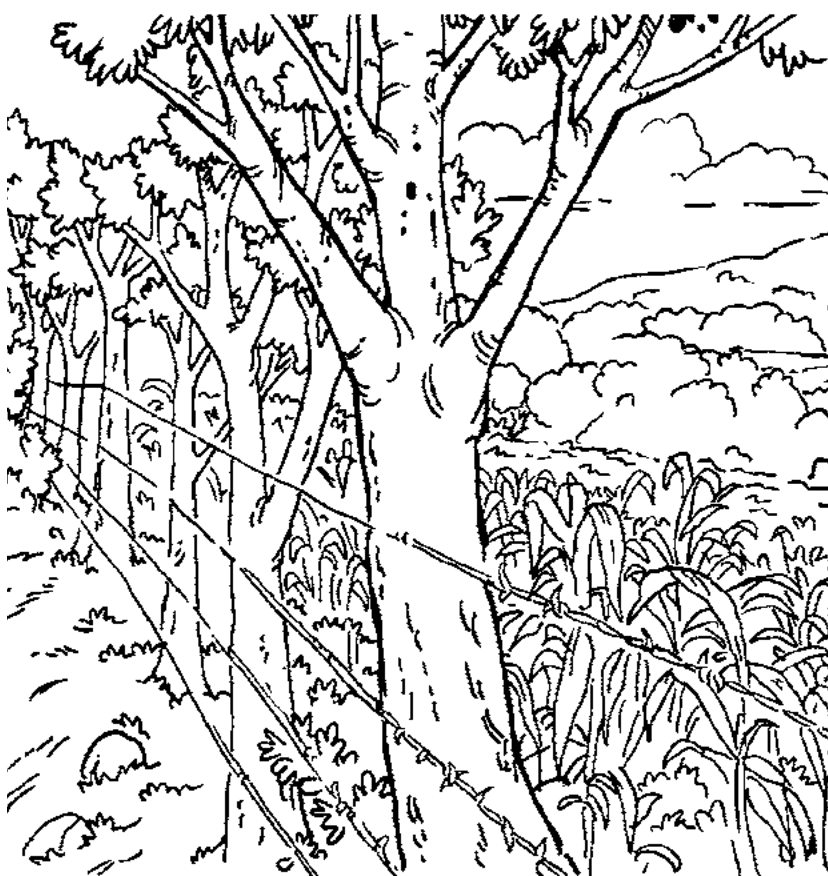
En el panorama actual de cambio climático que vivimos, es inminente que los vientos extremos y los huracanes con vientos fuertes sean más frecuentes. Por su diseño, la función fundamental de la cortina rompeviento es la reducción de la velocidad de los vientos que logran atravesar la cortina, siendo su principal función adaptativa. Además, parte de los vientos son desviados, por lo que los animales y cultivos se protegen de posibles vientos extremos. Adicionalmente, las cortinas rompevientos afectan la temperatura del viento, volviéndolos más frescos en los lugares muy calientes y más templados en los lugares muy fríos⁶, lo cual es importante para lidiar con las temperaturas extremas que se proyectan en nuestra región.

2.4.4. Limitaciones del uso de las cortinas rompevientos

Por la naturaleza de la práctica, encontramos efectos de la sombra y competencia de raíces que puede retardar el crecimiento de las plantas del cultivo más cercanas a la cortina, y “pérdida” de tierra agrícola que está siendo ocupada por los árboles de la cortina rompeviento. Sin embargo, considerando los beneficios de largo plazo antes mencionados, como los múltiples productos que pueden proveer, los beneficios de biodiversidad, y de provisión al productor podemos observar que hay más efectos positivos que negativos. Si se hace una poda adecuada, y se tienen especies compatibles con los cultivos de interés, podemos tener un buen balance acerca del uso de esta práctica.

2.5. Cercas vivas

Las cercas vivas consisten en árboles espaciados en una hilera, que se usan para colocar alambre o palos para separar una parcela (o potrero) de otra. Idealmente, las especies que se plantan son árboles que se pueden podar fácilmente, dos o tres veces al año, y de fácil establecimiento por estaca⁴⁵, usualmente de una sola especie cuando es plantado por el productor²⁷. El uso de las cercas vivas es una práctica muy común en Centroamérica. Por ejemplo, un estudio reciente del proyecto CASCADA encontró que 98% de los pequeños productores de café en Turrialba, Costa Rica, utilizaban cercas vivas en sus fincas; de igual manera, 87% de los pequeños productores de granos básicos en Choluteca, Honduras tenían cercas vivas en sus fincas. Entre las especies más comunes en las cercas vivas están poró (*Erythrina spp*), madreño o madero negro (especialmente en zonas húmedas) el jocote (*Spondias purpurea*), indio



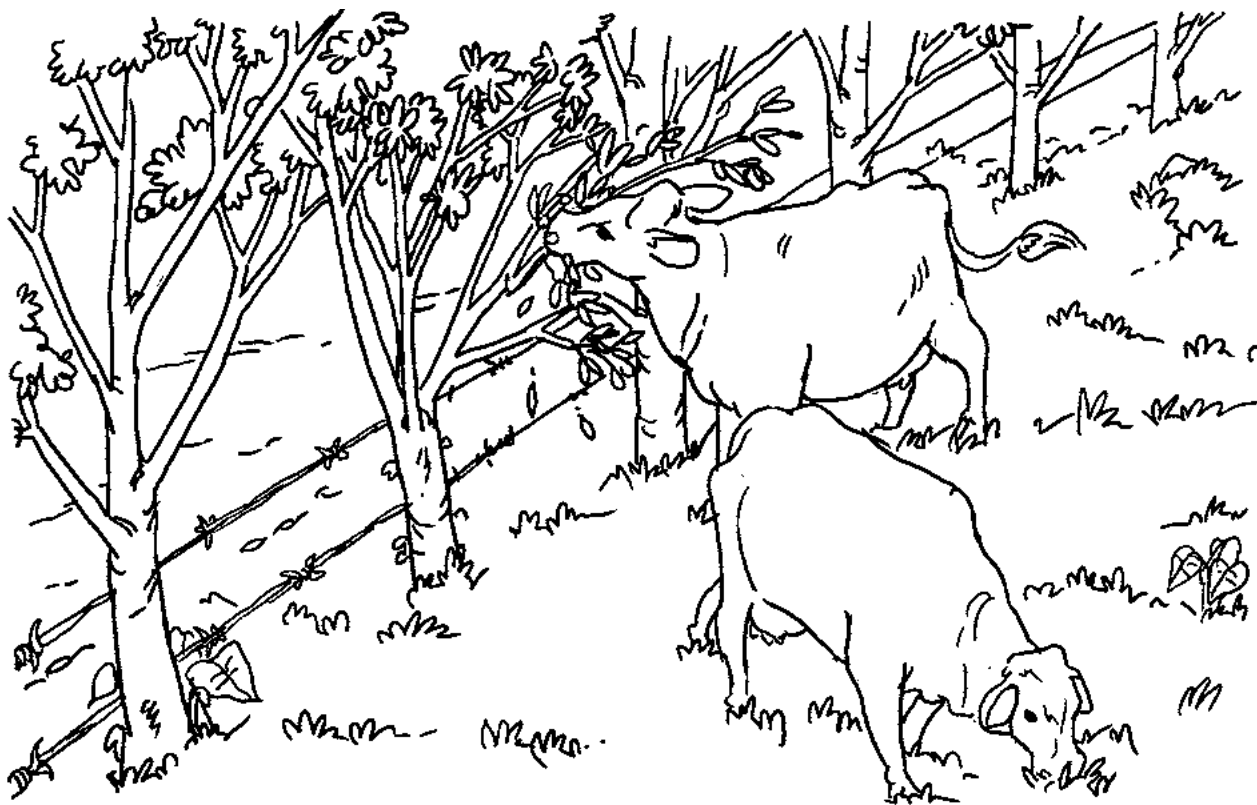
desnudo o jiñocuabo (*Bursera simaruba*) (especialmente en zonas secas)⁸, pero existe mucha variedad en las especies utilizadas en diferentes lugares. La densidad de su siembra varía mucho de un sitio a otro, pero generalmente los árboles están distanciados a metro. En algunos casos, las cercas no son sembradas sino que surgen naturalmente (de semillas dispersadas por aves o el viento). Estas cercas vivas ‘naturales’ tienen mayor diversidad de especies vegetales²⁷ y tienen mayor valor para la conservación de biodiversidad, ya que atraen más animales.

Es recomendable usar estacas de 2 a 2.5 m de largo y plantarlas de 20 a 30 cm. de profundidad, para que los retoños que emerjan estén fuera del alcance del ganado, y así se logre su establecimiento más rápido, en aproximadamente 3 meses⁴⁵. También es necesario que a medida que van creciendo los árboles, se revise si es necesario replantar. Esto se hace colocando estacas de menor diámetro que las que se plantaron inicialmente. El alambre se debe colocar varios meses después, cuando se puede asegurar que los árboles están bien enraizados⁸.

La poda es fundamental para mantener la cerca viva en buenas condiciones. Esta práctica depende de los servicios que proveen los árboles, el uso del material podado, y las preferencias personales de los productores. Por ejemplo, algunos productores prefieren podar de acuerdo a las fases de la luna, prefiriendo realizar la poda en el menguante.

2.5.1. Beneficios del uso de las cercas vivas

Las cercas vivas pueden ser de múltiples usos dependiendo de las especies que se usen, dando muchos posibles subproductos. Por ejemplo, se pueden usar especies forrajeras para rumiantes u otros animales domésticos (incluso gallinas), lo cual es muy importante para su alimentación, especialmente cuando hay menos biomasa en los pastos. Estos árboles en su mayoría son leguminosas y son de fácil propagación (por semilla o de manera vegetativa)⁶.



Las cercas vivas pueden tener múltiples usos, tales como suplementar la alimentación para el ganado.

Las cercas vivas pueden proveer leña de uso para el hogar o para su venta, y darnos productos maderables (p. ej., postes, horquetas). En términos de provisión, es una forma de producir frutos con valor comercial o para la seguridad alimentaria de la familia aprovechando áreas no utilizadas o marginales, con relativamente poca competencia con los cultivos. Adicionalmente, las cercas vivas permiten una delimitación clara de la propiedad, reafirmando su dominio, previniendo posibles problemas legales sobre la propiedad de los vecinos, invasiones no deseadas, etc.⁶ Además, las cercas vivas agregan valor estético a un paisaje⁶, ya que a menudo se puede apreciar su belleza, por ejemplo con especies que florecen o cuando contrasta su follaje con el resto de la finca.

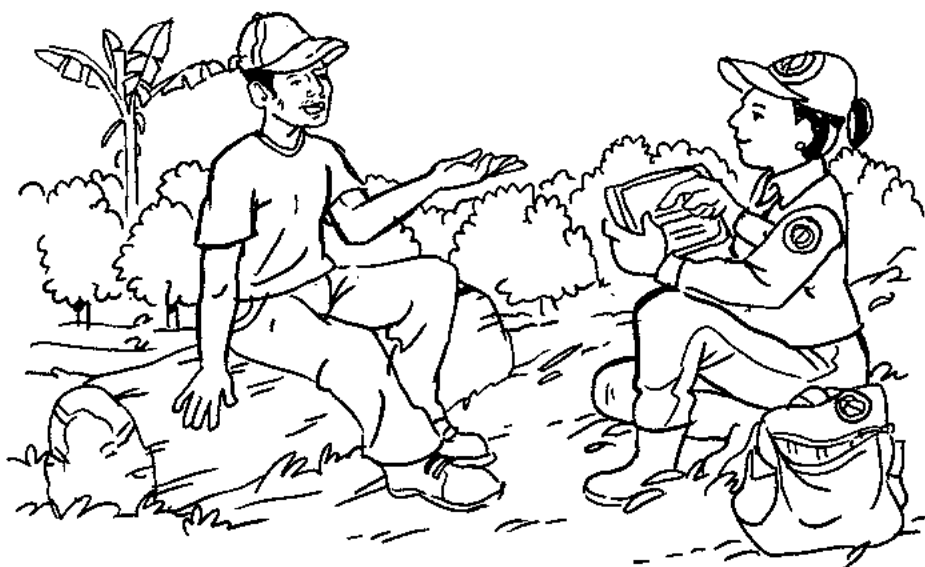
2.5.2. Contribución del uso de cercas vivas a la adaptación y la mitigación del cambio climático

Las cercas vivas pueden bajar la temperatura del suelo debido a la mayor retención de humedad donde están ubicadas (^{11,39,47 en 41}), lo cual es relevante en el contexto de precipitación errática al que nos enfrentamos. Adicionalmente, se espera que la temperatura del aire en una parcela rodeada con cercas vivas sea más estable que sin ella⁴¹. La humedad relativa de las parcelas cercanas aumenta con la presencia de cercas vivas, reduciendo la tasa de evapotranspiración de los cultivos⁴⁷, este efecto decrece a medida que se aleja de la cerca viva. La tasa menor de evapotranspiración se traduce en mayor conservación del agua en la planta, evitando el estrés hídrico⁴¹. Finalmente, aunque su objetivo principal no sea el mismo que el de una cortina rompeviento, las cercas vivas también pueden proteger moderadamente del viento extremo.

2.5.3. Limitaciones del uso de las cercas vivas

Las limitaciones de las cercas vivas están relacionadas principalmente a la necesidad de manejar los árboles regularmente. Las cercas vivas requieren ser podadas ya que sus ramas pueden producir mucha sombra, compitiendo por luz con el cultivo. Además, si no se podan, se corre el riesgo de que el árbol crezca en diámetro y “se coma” el alambre, llevando a que este se quiebre y deba ser remplazado para seguir cumpliendo su función, lo cual es inconveniente para el productor⁸.

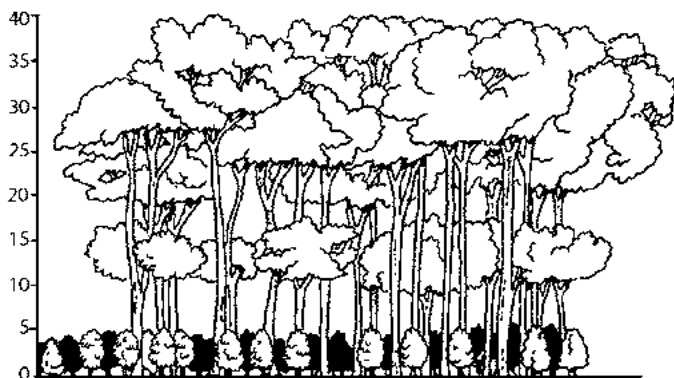
En el marco del proyecto CASCADA, se realizaron entrevistas a pequeños productores de café y granos básicos en Costa Rica, Guatemala y Honduras acerca de las limitaciones de las cercas vivas, entre otras prácticas. Para el establecimiento de esta práctica 47% mencionó dificultades para conseguir el material vegetativo como una limitante, 13% mencionó el alto costo del alambre, y 13% la mano de obra necesitada para el establecimiento. Cuando se preguntó acerca de las limitantes una vez que está establecida la práctica, 38% mencionó la necesidad de mano de obra para realizar la poda; no se mencionaron otros inconvenientes cuando la práctica ya está establecida.



2.6. Sombra en el café

Los cafetales varían mucho en cuanto al tipo y nivel de la sombra. Moguel y Toledo⁴⁴ indican cinco maneras de clasificar los tipos de sombra en los cafetales: la sombra rústica, el policultivo tradicional, el policultivo comercial, sombra monoespecífica (sombra simple) y monocultivo a pleno sol.

En los cafetales de *sombra rústica*, el productor sustituye las plantas que crecen en el suelo del bosque por plantas de café. Se remueve solo el estrato más bajo del bosque y se mantiene la cobertura arbórea. Usualmente en este sistema hay un manejo mínimo, con poco uso de agroquímicos, y tiene bajos rendimientos. En el sistema de *policultivo tradicional*, el productor también introduce el café bajo la cobertura arbórea, pero el café se maneja con distintas plantas útiles, con mucha biodiversidad útil y con más manipulación. El sistema de *policultivo comercial* implica la remoción del bosque original y la introducción de árboles apropiados y seleccionados para el cultivo del café. No están ya los árboles originales del bosque, sino especies que proveen sombra y que además brindan otros beneficios como la fijación de nitrógeno de las plantas leguminosas, y producción de madera, frutas y otros bienes. Este sistema tiene un mejor rendimiento que el anterior, y por lo general se maneja con agroquímicos. La sombra *monoespecífica o sombra simple* es una de las más comunes en el cultivo moderno del café. Se usan algunas especies seleccionadas para proveer la sombra: Poró, guaba o pepeto (*Inga spp.*), madero negro o madreño, entre otras, resultando en una plantación especializada bajo sombra poco diversa (generalmente con una sola especie de sombra), y también requiere el uso de agroquímicos. Por último, el monocultivo a pleno sol carece de árboles y requiere gran cantidad de agroquímicos y manejo intensivo⁴⁴.



Sombra densa típica del policultivo tradicional (adaptado de Moguel y Toledo⁴⁴).



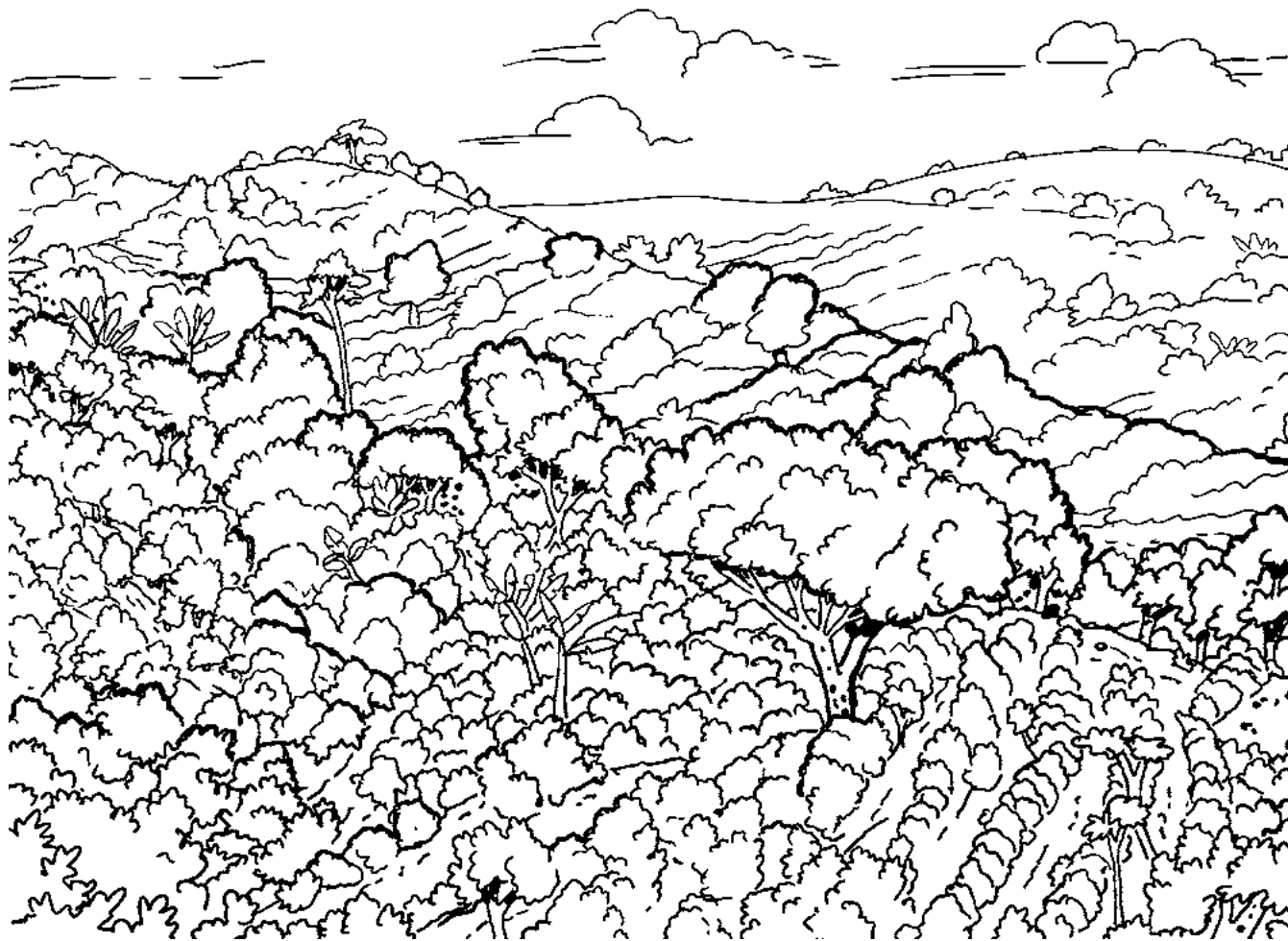
Sombra típica del policultivo comercial (adaptado de Moguel y Toledo⁴⁴).



Arreglo típico de la sombra simple o sombra monoespecífica (adaptado de Moguel y Toledo⁴⁴).

2.6.1. Beneficios del uso de árboles de sombra en cafetales

Entre los beneficios más importantes de la sombra, está la conservación de niveles altos de materia orgánica^{22 en 76}, lo cual es importante tanto para mantener la estructura del suelo como por servir de fuente de nutrientes^{25 en 76}. La cantidad de materia orgánica que esté presente en el agroecosistema va a depender del manejo que el productor le dé a su plantación. El manejo de cafetales con sombra de poró y otros árboles, conserva más cantidad de hojarasca o mantillo en el suelo, en comparación con un cafetal sin árboles de sombra^{9,70 en 75}. Además, la capacidad de retener nutrientes es mayor en un cafetal con árboles con sombra que en un cafetal sin sombra.



El uso de árboles de sombra en cafetales tiene ventajas como conservación de la materia orgánica del suelo, propiciar el reciclaje de nutrientes y favorecer la humedad en el suelo, al tiempo que brinda otros servicios ecosistémicos como brindar hábitat para la biodiversidad.

Los árboles de sombra también son muy importantes para el reciclaje de nutrientes. Un estudio realizado por Baraër^{5 en 75} estuvo enfocado en determinar el efecto de los árboles de sombra sobre los procesos de mineralización y nitrificación de la materia orgánica del suelo, y encontró una fuerte relación entre la mineralización y el tipo de sombra. Según su experimento, se observó que suelos cafetaleros sin sombra mostraron la tasa de **mineralización** más lenta de nitrógeno (1.7mg N/kg de suelo) y los cafetales con sombra de Poró, árbol fijador de nitrógeno, presentaron la tasa más rápida de mineralización (5.64mg N/kg de suelo). Como resumen de su estudio, podemos indicar que hay más mineralización bajo árboles de sombra, variable según la especie, siendo mayor bajo sombra de árboles leguminosas.

Los árboles que se usan como sombra también pueden determinar los beneficios que se obtengan de esta práctica. El uso de **árboles de servicio** es una práctica usual en plantaciones de café. La diversidad específica en estos sistemas es reducida a dos o tres especies. Entre las especies que fijan nitrógeno y que son usadas como sombra, destacan el poró, guaba o pepeto, y en menor grado, madreño o madero negro y *Gravilea robusta*. Estas especies se caracterizan por su rápido crecimiento y resisten podas una o varias veces al año. Algunas producen leña de calidad buena o regular, otras producen frutas (por ejemplo, pacai o guaba). Son de fácil diseminación por estacas o semillas⁶¹. Estas especies además mejoran el balance del nitrógeno en la plantación, elemento fundamental en la producción cafetalera. Las cantidades estimadas de nitrógeno, en cafetales bajo condiciones normales, con manejo de especies fijadoras como el poró o la guaba o pepeto, rodean los 100 kg /ha³⁴, lo que puede variar desde 56-555 kg/ha^{49 en 76}.

Los árboles de sombra pueden favorecer a retener la humedad en el suelo y también favorecer infiltración. Sin embargo, en zonas muy secas durante todo el año, o en zonas con periodos secos muy marcados y largos, se deberá evitar densidades muy altas de árboles de sombra en los cafetales (>60 árboles por hectárea) porque en esas condiciones los árboles transpirarán más agua de lo que pueden contribuir a retener, e incluso podrían competir por agua con el cultivo.

Es importante resaltar que si los cafetales con sombra se trabajan con la misma intensidad de manejo (fertilización, poda de los cafetos, manejo de plagas y enfermedades, manejo de la sombra, etc.) los rendimientos pueden ser similares en este sistema como en el cafetal sin sombra. Si ambos sistemas son



La producción de los cafetales con árboles de sombra es menos susceptible a los cambios en el manejo.

trabajados con bajo manejo (como sucede con los sistemas policultivo tradicional: poco manejo de sombra, poca fertilización, etc.), hay mejores rendimientos en el sistema con sombra, es decir, que el sistema a pleno sol es más susceptible a las deficiencias de manejo, mientras que, el sistema con sombra soporta más el bajo manejo, en términos de producción. Esto último es importante pensando en los pequeños productores. Por otra parte, la calidad de exportación es mayor en cafetales bajo sombra, ya que se tiene frutos más grandes y sanos, sin quemaduras de sol^{26 en 75}. Además otras características, como el contenido de cafeína y de azúcares sube en el café sombreado en comparación con el café a pleno sol²⁶. Esto es importante porque estos compuestos son fundamentales en el proceso de torrefacción del café⁷⁶, y es relevante para la caficultura de Centroamérica que tiene vocación para los mercados de cafés especiales.

Los árboles de sombra pueden ser muy diversos y aportar bienes para diferentes usos. Todos los bienes producidos significan un ingreso o ahorro para la familia dependiendo cómo se usen. Se puede producir madera para venta o para construcciones en la finca, leña para el hogar, frutas para consumo familiar o para el consumo de animales domésticos, o para venta también. Es muy relevante que los productores valoren la contribución adicional de la sombra al flujo de caja (economía) familiar, no solo la competencia entre cultivos y árboles.

2.6.2. Contribución del uso de árboles de sombra a la adaptación y la mitigación del cambio climático

La sombra tiene efectos en el microclima del cafetal, afectando la cantidad y calidad de luz que entra al sistema, moderando en la temperatura del aire, del suelo y del área foliar (hojas del cafeto); mejorando la humedad del suelo^{10,29,36,37 en 76} y tiene un efecto positivo por el impacto de la lluvia bajo el dosel^{3,70 en 76}. La radiación solar que llega al cafeto se reduce considerablemente en función de la densidad de sombra y del tipo de copa de los árboles utilizados (ej. perennes vs. caducifolios)^{7,36,67 en 76}. Las temperaturas altas del aire (máximos de temperatura), de las hojas de los cafetos y del suelo, disminuyen dentro del sistema bajo sombra; mientras la humedad del aire (humedad relativa) tiende a aumentar^{36,37 en 76} y mantenerse por más tiempo^{21,78}, lo cual es particularmente importante en los escenarios futuros de sequía. Esas condiciones microclimáticas pueden contribuir a regular la carga fructífera de los cafetos, evitando así variaciones muy marcadas en la producción de un año a otro. Dicha regulación de la carga fructífera también puede evitar excesiva presencia de enfermedades **fungosas** (las plantas son más susceptibles a patógenos con altas cargas fructíferas).

Ante lluvias extremas, los árboles de sombra ayudan a proteger el suelo de la **erosión laminar** y conservan su fertilidad a través de la materia orgánica que dan al sistema; también ayudan a evitar los deslizamientos relacionados con la erosión en masa del suelo, a través de la sujeción que proporcionan las raíces profundas que van de un horizonte a otro en el agroecosistema⁷⁶, aunque este efecto requiere más estudios. El dosel de sombra intercepta la lluvia y puede disminuir su intensidad y el escurrimiento superficial bajo el dosel⁷⁶ especialmente en caso de lluvias de poca intensidad (< 5mm). Este punto es controversial, porque las hojas de los árboles de sombra acumulan el agua de la lluvia y forman gotas de mayor tamaño, las cuales, cuando rebalsan de la hoja (en lluvias más abundantes), pueden provocar mayor impacto sobre las hojas de los cafetos. La energía cinética de las gotas (determinada por el tamaño y velocidad de la gota) depende de la altura del dosel y la especie de árboles^{3,70}. En este sentido, el laurel (*Cordia alliodora*), por ejemplo, aumenta la energía cinética de las gotas, en comparación con pleno sol^{13,70 en 77}, provocando mayor erosión. Otras especies de árboles como la *Inga edulis*, y la *Inga densiflora* por el contrario, tienden a disminuir la energía cinética de las gotas, debido posiblemente a su tipo de copa que intercepta más la lluvia y la distribuye a lo largo de las ramas y del tronco⁷⁰.



El uso de árboles de sombra modera la temperatura y tiene un impacto positivo sobre la precipitación en el cafetal; al mismo tiempo, provee hábitat para biodiversidad que puede ser benéfica para la plantación.

Los árboles de sombra contribuyen también a la mitigación del cambio climático, un servicio para el ambiente global. Los árboles son capaces de secuestrar carbono del aire y almacenarlo en sus partes leñosas (troncos y ramas), proveyendo un beneficio de mitigación. De esa manera están contribuyendo a reducir las concentraciones de un gas de efecto invernadero (CO_2) de la atmósfera, el cual es uno de los causantes del cambio climático a nivel mundial.

2.6.3. Limitaciones y trade-offs de los árboles de sombra en café

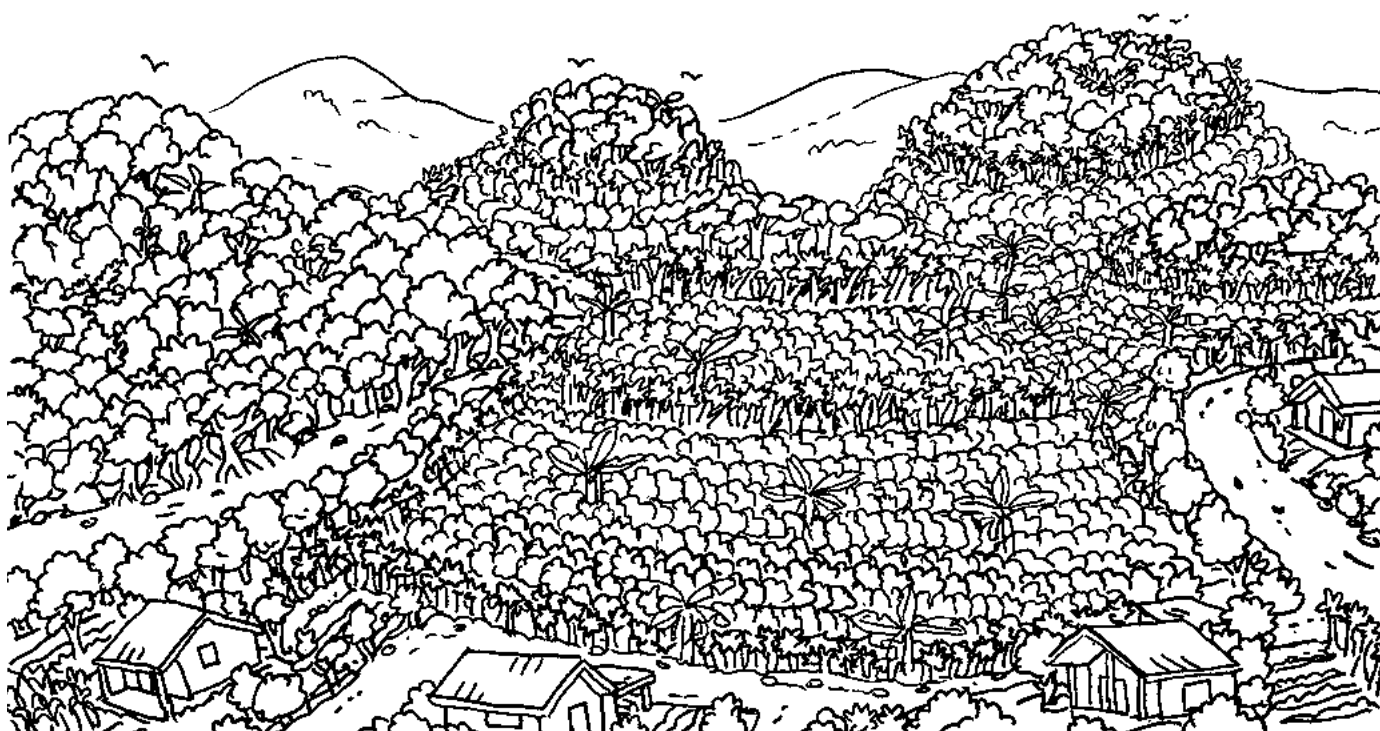
Las principales limitaciones de los árboles de sombra son que necesitan manejo en los primeros años en que son establecidos (los primeros 3 a 4 años) lo cual puede incrementar el uso de la mano de obra, aumentando costos para el productor. El manejo de los árboles de sombra con podas es fundamental porque si la sombra es excesiva puede reducir el rendimiento considerablemente y además promover mayor incidencia de plagas y enfermedades.

La sombra tiene algunos **trade-offs** cuando se compara con el cafetal a pleno sol, por ejemplo, el desarrollo del grano bajo sombra, tiene una maduración más tardía. Sin embargo es más pareja y el grano es más grande ^{30,34 en 76}. Los estudios también demuestran un claro efecto de la sombra sobre la reducción de la carga fructífera ^{3,19}. Otros estudios demuestran además reducciones de rendimiento bajo sombra de *Inga sp.* de 38% cuando se compara con plantaciones a pleno sol ^{67 en 75}.

3. Mensajes clave

Los productores agrícolas de Centroamérica son particularmente vulnerables al cambio climático; ajustarse a este cambio es fundamental para que su nivel de producción y sus medios de vida permanezcan. Hay varias maneras de adaptarse al cambio climático, sin embargo, la Adaptación basada en Ecosistemas provee una opción viable y con beneficios adicionales para los pequeños productores. Estas son algunas de las ideas clave de este módulo:

1. Las prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas usan la biodiversidad y servicios ecosistémicos para ayudar a las familias y sus fincas a adaptarse al cambio climático. Se refieren a prácticas de conservación, restauración y manejo sostenible de los agroecosistemas. Muchas se pueden usar en la producción agropecuaria para ayudar a los agroecosistemas, los productores y sus familias a ser más resilientes a impactos futuros.



La adopción de prácticas de AbE en el paisaje ayuda en la continua provisión de servicios ecosistémicos la vez que ayuda a los productores a ajustarse al cambio

2. Muchas de las prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas que son aptas para pequeños productores proveen múltiples co-beneficios: proveen bienes para el ingreso y consumo familiar, ayudan en la seguridad alimentaria, protegen a los cultivos de eventos extremos (vientos, huracanes), mejoran la fertilidad del suelo y contribuyen a mitigar el cambio climático a través del secuestro de carbono.
3. Algunas ejemplos de la AbE en sistemas agropecuarios incluyen el uso de barreras vivas para evitar la erosión durante lluvias fuertes o eventos extremos, el uso de cortinas rompevientos para amortiguar los

impactos de fuertes vientos o lluvias extremas sobre los cultivos, el uso de sombra diversificada en los cafetales para amortiguar los impactos de altas temperaturas y fluctuaciones en la precipitación, la conservación de bosques ribereños y áreas boscosas para asegurar la provisión de agua en épocas de mayor variabilidad climática, y el uso de prácticas de conservación de suelos para evitar los efectos de eventos extremos sobre la erosión, pérdida de fertilidad y disponibilidad de agua, entre otros.

4. Las prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas pueden tener un efecto importante a nivel de paisaje: si estas prácticas se implementaran en todas las fincas en una región, su impacto sería más rápido y notorio, beneficioso para muchas comunidades al mismo tiempo, más allá de solo la finca de un productor.

El uso de las prácticas de Adaptación basada en Ecosistemas puede ayudar a los pequeños productores a adaptarse al cambio climático y deber formar parte de sus estrategias de adaptación. Otras actividades que pueden ser importante para su adaptación incluyen el acceso a apoyo técnico, el uso de nuevas variedades de plantas más resistentes a altas temperaturas o a sequía, y el acceso a crédito y recursos financieros para implementar cambios en sus fincas, entre otras.

4. Glosario

Alelopatía: Es la influencia directa de un compuesto químico liberado por una planta sobre el desarrollo y crecimiento de otra planta. Los compuestos alelopáticos pueden ser liberados de las plantas al ambiente por medio de la exudación de las raíces, lixiviación, volatilización y descomposición de los residuos de las plantas en el suelo.

Antropogénico: Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Árboles de servicio: Árboles que generalmente no son utilizados con cultivos anuales y perennes para controlar erosión (p. ej., barreras vivas), dar sombra, fijar nitrógeno, dar mulch, para controlar malezas o mejorar la fertilidad del suelo.

Capital financiero: Está compuesto por recursos económicos, en efectivo o no, que están disponibles para las comunidades y contribuyen tanto al consumo como a la producción. Es utilizado para el logro de objetivos relacionados a los medios y estrategias de vida; por su naturaleza al ser invertidos permiten crear un valor adicional.

Capital social: Se refiere a las conexiones, redes, las normas de reciprocidad y confianza que se dan entre las personas y las organizaciones en las comunidades, ya sean privadas, públicas o comunitarias.

Cero labranza: La siembra que se hace directamente en suelos, sin necesidad de removerlo ni eliminar el rastrojo que lo cubre.

Co-beneficios: Beneficios secundarios de una acción.

DAP: Diámetro a la altura del pecho.

Erosión laminar: Pérdida de una capa delgada más o menos uniforme de suelo (partículas liberadas por salpicadura) en un terreno inclinado. Tiene lugar cuando la intensidad de la precipitación excede la infiltración o bien cuando el suelo se satura de agua, lo que da lugar a un exceso de agua en la superficie.

Frontera agrícola: Límite entre la tierra dedicada a la agricultura y la tierra que se mantiene como área natural intacta.

Fungosas (enfermedades): Que son causadas por los hongos.

Hospedero: Organismo que alberga a otro en su interior o que lo porta sobre sí.

Medida robusta: En el contexto de la Adaptación basada en Ecosistemas, las medidas robustas son conocidas también como “acciones útiles en todo caso” o “no-regrets” en inglés. Éstas, independientemente del escenario climático, ofrecen beneficios tanto ambientales, como socio-económicos. Es decir, que son beneficiosas aun cuando las consecuencias previstas del cambio climático no se materialicen o lo hagan de un modo diferente.

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.

Mineralización: Es la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral, volviéndose asimilable para la planta mediante la acción de microorganismos del suelo.

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.

Trade-off: Es una situación en la cual se debe perder cierta cualidad a cambio de otra cualidad. Implica una decisión en la cual se comprende totalmente las ventajas y desventajas de cada elección.

5. Bibliografía

1. Altieri MA, Nicholls CI. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*. 8(1):7–20
2. ANACAFE. 2014. Guía Técnica de Caficultura. Guatemala, Guatemala: ANACAFE
3. Avelino J, Rivas G. 2013. La roya anaranjada del cafeto. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>
4. Ayarza M, Welchez L. 2004. Drivers affecting the development and sustainability of the quesungual slash and mulch agroforestry system (qsmas) on hillsides of Honduras. In *Comprehensive Assessment Bright Spots Project Final Report*, ed A Noble, pp. 187–201. Tegucigalpa, Honduras
5. Baraër T. 2013. Déterminants du cycle de l'azote dans des systèmes agroforestiers de caféiers au Costa Rica. In *Mémoire de fin d'études d'ingénieur*. Turrialba, Costa Rica
6. Beer, J; Ibrahim, M; Somarriba, E; Barrance A. LR. 2004. Establecimiento y manejo de árboles en sistemas agroforestales. In *Árboles de Centroamérica*, p. 46. Turrialba: CATIE
7. Beer JW, Muschler RG, Somarriba E, Kass D. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations – a review. *Agrofor. Syst. Syst.* 38:139–64
8. Budowski G. 1987. Living fences in tropical america, a widespread agroforestry practice. In *Agroforestry: realities, possibilities and potentials*, ed HL Gholz, pp. 169–78. Dordrecht, Holanda: Springer
9. Cabon M. 2015. Effect of shade on microclimate, soil fertility and productivity of coffee trees in Costa Rica. Reporte de pasantía. CATIE, Turrialba, Costa Rica
10. Cannavo P, Sansoulet J, Harmand JM, Siles P, Dreyer E, Vaast P. 2011. Agroforestry associating coffee and inga densiflora results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in costa rica. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140(1–2):1–13
11. Casa, R., Scarascia-Mugnozza, G., Valentini, R., Bimbi R. 1993. Effects on an eucalyptus shelterbelt in coastal central italy on the microclimate and energy budget of maize. In *The fourth International Symposium on Windbreaks and Agroforestry Proceedings (July 26–30, 1993)*, pp. 53–57. Hedelselskabet, Denmark
12. CATIE, CESTA. 2006. Integrated Water Resource Management by the Implementation of Improved Agroforestry Concepts in Arid and Semi-Arid Areas in Latin America (WAFLA): Definition of Appropriate Agroforestry and Water Management Systems According to Local Conditions for Arid and Semi Arid Regios of Latin America. http://cordis.europa.eu/docs/publications/1238/123859451-6_en.pdf
13. Cerdán CR, Rebolledo MC, Soto G, Rapidel B, Sinclair FL. 2012. Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Agric. Syst.*, pp. 119–30
14. CIAT. 1980. El lorito verde (*Empoasca kraemeri* Ross y Moore) y su control. Cali, Colombia: CIAT
15. CIAT. 2012. Sistema Agroforestal Quesungual: Una Opción Eco-Eficiente para Agricultores de Escasos Recursos. <https://ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/12/quesungual.pdf>

16. CIAT. 2012. Sistema Agroforestal Quesungual: Una Opción Eco-Eficiente para Agricultores de Escasos Recursos. CIAT Hoja Informativa No. 10
17. Cruz R de la., Rojas E, Merayo A. 1994. Manejo de la caminadora (*rottoellia cochinchinensis* (lour) w.d. clayton) en el cultivo de maíz y el período de barbecho con leguminosas de cobertura. *Manejo Integr. Plagas*, pp. 29–35
18. Cubero D. 1999. Las barreras vivas y su aplicación en la agricultura conservacionista. Memoria del XI Concurso Nacional Agronómico/III Congreso Nacional de Suelos
19. DaMatta F, Rodriguez N. 2007. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agron. Colomb.* 25(1):113–23
20. FAO. 2005. El Sistema Agroforestal Quesungual. Roma, Italia: FAO
21. Fassbender HW. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. Serie Materiales de enseñanza. Turrialba, Costa Rica: CATIE
22. Fernández C., Muschler RG. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América central. In *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*, ed B Bertrand, B Rapidel, pp. 69–96. CIRAD-IICA-PRO-MECAFE
23. 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
24. Giraldo Ávila G. Las barreras vivas. Documento de trabajo. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia 7 pp.
25. Guharay F, Monterrey J, Monterroso D, Staver C. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua: CATIE
26. Guyot B, Gueule D, Manez JC, Perriot JJ, Giron J, Villain L. 1996. Influence de l'altitude et de l'ombrage sur la qualité des cafés arabica. *Qualite*, pp. 273–238
27. Harvey CA, Tucker NIJ, Estrada A. 2004. Live fences, isolated trees, and windbreaks: tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. In *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*, pp. 261–289. Washington D.C., Estados Unidos: Island Press
28. Hellin J, Haigh M. 2002. Hellin, j., Haigh, M. 2002. Impact of *Vetiveria zizanioides* (vetiver grass) live barriers on maize production in Honduras. 12th ISCO Conference Beijing, Technology and Method of Soil and Water Conservation, Beijing, China.
29. IICA. 1988. Curso regional sobre nutrición mineral del café. San José, Costa Rica
30. IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Cambridge: Cambridge University Press. 35-112 pp.
31. IPCC. 2014. Summary for policymakers. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed and LLW Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, pp. 1–32. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,,: Cambridge University Press

32. Jackson L, van Noordwijk M, Bengtsson J, Foster W, Lipper L, et al. 2010. Biodiversity and agricultural sustainability: from assessment to adaptive management. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 2:80–87
33. Labrada R. 2004. Manejo de malezas para países en desarrollo. Roma: FAO
34. Leblanc HA, McGraw RL, Nygren P. 2007. Dinitrogen-fixation by three neotropical agroforestry tree species under semi-controlled field conditions. *Plant Soil.* 291(1–2):199–209
35. Lewis WJ, van Lenteren JC, Phatak SC, Tumlinson JH. 1997. A total system approach to sustainable pest management. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94(12242–12248):
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. Lopez-Bravo D, Virginio E, Avelino J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Prot.* 38:21–29
38. Matos E, Mendonça E, Lima Pc, Coelho M, Mateus R, Cardoso IM. 2008. Green manure in coffee systems in the region of zona da mata, minas gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. *Rev. Bras. Ciência do Solo.* 32:2027–35
39. McNaughton KG. 1988. Effects of windbreaks over turbulent transport and microclimate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 22/23:17–39
40. Méndez MA, Cáceres O, Galeano P, Hernández, R.F., Zavala, R.M. 1998. Efecto del asocio de maíz con dos especies de frijol abono *Mucuna pruriens* borb y *Cannavalia ensiformis* L.d.c. en las poblaciones de plagas del suelo y follaje en Miraflores, Estelí, Nicaragua. In *Compartiendo una experiencia de manejo integrado de plagas : PROMIPPAC / Fase 95-98. Estelí*, ed O Cáceres, pp. 112–116. Managua, Nicaragua: EPAEZ, COSUDE, PROMIPPAC
41. Méndez VE, Beer J, Faustino J, Otarola A. 2000. *Plantación de Árboles en Línea*, Vol. 1. Turrialba, Costa Rica: CATIE
42. Mendoza RB. 2000. Efecto de barreras vivas sobre la erosión hídrica: rendimientos de maíz y frijol bajo los fenómenos de el niño y el huracán mitch. *Rev. Laderas Centroam.* 3(10):5–8
43. Merayo-Miller A, Rojas-Calvo CE, Valverde-Mena BE, Umaña-Marín E. 1998. Leguminosas de cobertura para el manejo de *rottoellia cochinchinensis* en el asocio yuca/maíz. *Manejo Integr. Plagas*, pp. 49–53
44. Moguel P, Toledo VM. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conserv. Biol.* 13(1):11–21
45. Muschler RG. 2016. Agroforestry: essential for sustainable and climate-smart land use? In *Tropical Forestry Handbook*, ed L Pancel, M Köhl, pp. 6–11. Berlin, Germany: Springer-Verlang. 2nd editio ed.
46. Noble IR, Huq S, Anokhin YA, Carmin J, Goudou D, et al. 2014. Adaptation needs and options. *Assess. Rep. 5-Clim. Chang. 2014 Impacts, Adapt. Vulnerability. Part A Glob. Sect. Asp.*, pp. 833–68
47. Norton RL. 1988. Windbreaks: benefits to orchard and vineyard crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 22/23:205–14
48. Nunes U, Santos N, Farnezi Mm, Andrade Júnior V, Brandão Júnior D, Pereira G. 2007. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em plantio direto sobre diferentes coberturas de plantas em diamantina, mg. *Ciência e Agrotecnologia.* 31(6):1737–43
49. Nygren P, Fernández M, Harmand JM, Leblanc H. 2012. Symbiotic dinitrogen fixation by trees: an underestimated resource in agroforestry systems? *Nutr. Cycl. Agroecosystems.* 94(2–3):123–60

50. Ortiz-Ceballos A, Fragoso C. 2004. Earthworm populations under tropical maize cultivation: the effect of mulching with velvetbean. *Biol. Fertil. Soils.* 39(6):438–45
51. PASOLAC. 2005. Microempresas Rurales con Componente de Mujeres en Zonas de Laderas. Sistematización de experiencias. Tegucigalpa, Honduras: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (COSUDE) / Manejo de Recursos Naturales, Economía Rural, Gobernabilidad Local y Sociedad Civil (INTERCOOPERATION)
52. PASOLAC. 2005. Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Documento No. 241. Managua, San Salvador, Tegucigalpa, Nicaragua, El Salvador, Honduras
53. Perez CJ. 2009. Barreras vivas para producción de granos básicos en zonas de laderas de América central. 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. 69–86. Turrialba, Costa Rica: CATIE
54. PESA, SEL, PRONADERS, SAG. 2006. El sistema agroforestal Quesungual: Una opción para el manejo de suelos en zonas secas de ladera. http://www.pesacentroamerica.org/pesa_ca/ref_san_disponibilidad_tagropec.htm
55. Pineda Rizo O, Aguilera Ruíz A. 1999. Evaluación del efecto de barreras vivas de *Gliricidia sepium* Jaq. sobre la erosión de suelos y la producción de granos básicos en parcelas de escurrimiento (Cuenca El Pital, Nicaragua 1997). UNA
56. Pinto Ruiz R, Madrigal RQ, Medina FJ, Hernández FG, Castro HG. 2009. Experiencias del uso de especies leguminosas como cobertura para la producción sostenible de maíz. 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. 127–44. Turrialba, Costa Rica: CATIE
57. Posada Quinteros KE. 2012. Impacto del Sistema Agroforestal Kuxur Rum en la sostenibilidad de los medios de vida de las familias rurales en Camotán y Jocotán, Guatemala. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 152 pp.
58. Pound B. 2003. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América Latina. Conferencia electrónica Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. FAO: Roma.
59. Proyecto Promoción de Sistemas Agroforestales de Alto Valor con Cacao en Honduras. 2011. Guía sobre prácticas de conservación de suelos. Cortés, Honduras: FHIA. segunda ed ed.
60. Quiroga-Madrigal, R. 2000. Cropping Systems and Tropical Legumes on Soil Chemical and Biochemical Properties and Suppressiveness to Soilborne Plant Pathogens. Tesis doctoral, Universidad de Auburn, 146 pp.
61. Rapidel B, Allinne C, Cerdán C, Meylan L, de Melo Virginio Filho E, Avelino J. 2014. Efectos ecológicos y productivos del asocio de árboles de sombra con café en sistemas agroforestales. In Sistemas Agroforestales en el Neotrópico. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales, ed B Montagnini, Florencia; Somarriba, Eduardo; Murgeitio, Enrique; Fassola, Hugo; Eibl. Serie Técn:5–20. turrialba and Cali, Costa Rica and Colombia: CATIE and Fundación CIPAV
62. Ratnadass A, Fernandes P, Avelino J, Habib R. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32(1):273–303
63. Rodríguez A. 2008. Diagnóstico de los sistemas agroforestales exitosos en las zonas de trabajo del proyecto WAFLA en Latinoamérica. Caso de estudio Guatemala. Managua, Nicaragua: ACICAFOC. 10 pp.

64. Rodríguez OS. 2004. Influencia de barreras vivas de vetiver y otras prácticas de conservación en la cantidad y calidad de sedimentos producidos en lotes hortícolas en laderas. Artículo en revisión, disponible en <http://www.vetiver.org/ICV4pdfs/EB07es.pdf>
65. Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2009. Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Montreal, Canadá: Secretariat of the Convention on Biological Diversity
67. Siles P, Harmand JM, Vaast P. 2010. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in costa rica. *Agrofor. Syst.* 78(3):269–86
68. Solórzano R. 1994. Agricultura Sostenible: Inventario Tecnológico. Guatemala, Guatemala: Plan Internacional, La Libertad, IICA
69. Stigter CJ, Darnhofer C, Herrera H. 1989. Crop protection from very strong winds: recommendations from a costa rican agroforestry case study. In *Meteorology and agroforestry*, ed WS Reifsnnyder, TO Darnhofer, pp. 521–529. Nairobi, Kenia
70. Thériez M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Informe de pasantía. CATIE, Turrialba, Costa Rica
71. Thurow R. 2008. Hazard management lessons learned through mapping and assessing landslides triggered by hurricane mitch. En *Proceedings of the 15th International Congress of the International Soil Conservation Organization*. Budapest, Hungría.
72. Lhumeau, A., Cordero, D. 2012. Adaptación basada en ecosistemas: una respuesta al cambio climático. Quito, Ecuador, 17 pp
73. Vandenbeldt R, Williams J. 1992. The effect of soil temperature on the growth of millet in relation to the effect of *faidherbia albida* trees. *Agric. For. Meteorol.* 60:93–100
74. Vignola R, Harvey CA, Bautista-Solis P, Avelino J, Rapidel B, Donatti, C.I, Martínez, M.R. 2015. Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: definitions, opportunities and constraints. *Agric. Ecosyst. Environ.* 211:126–32
75. Villarreyna Acuña RA. 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. Reporte técnico del proyecto CASCADA. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
76. Villarreyna Acuña RA. 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el rendimiento de los cafetos, basado en perfiles de daño. Reporte técnico del proyecto CASCADA. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
77. Villarreyna Acuña RA. 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. Reporte técnico del proyecto CASCADA. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
78. Vis M. 1986. Interception, drop size distributions and rainfall kinetic energy in four Colombian forest ecosystems. *Earth Surf. Process. Landforms.* 11(6):591–603
79. Zea JL. 1992. Efecto de intercalar leguminosas con diferentes dosis de fosforo sobre el rendimiento de maíz, *zea mays* L. en centroamérica. *Agron. Mesoam.* 3:16–22

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