

Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica



Serie técnica
Boletín técnico no.87

Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la **generación de múltiples beneficios** en fincas ganaderas de Costa Rica

Cristóbal Villanueva, Francisco Casasola, Guillermo Detlefsen

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Turrialba, Costa Rica, 2018

Este manual ha sido posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Los puntos de vista/opiniones de este documento son responsabilidad de los autores contratados por el CATIE. Sin embargo, no reflejan necesariamente el punto de vista de esta institución, ni de USAID o el Gobierno de los Estados Unidos.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2018

ISBN 978-9977-57-682-4

631.583

V718 Villanueva, Cristóbal

Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica / Cristóbal Villanueva, Francisco Casasola y Guillermo Detlefsen. – 1ª ed. – Turrialba, C.R : CATIE, 2018

61 p. : il. – (Serie técnica. Boletín técnico / CATIE ; no.87)

ISBN 978-9977-57-682-4

Handle <http://hdl.handle.net/11554/8729> !

1. Sistemas silvopascícolas – Cambio climático – Costa Rica
2. Sistemas silvopascícolas – Mitigación al cambio climático – Costa Rica
3. Árboles en potreros – Costa Rica I. Casasola, Francisco II. Detlefsen, Guillermo III. Orozco, Lorena, ed. IV. CATIE V. Título VI. Serie.

Créditos

Edición: Lorena Orozco

Diseño: Rocío Jiménez Salas

Revisores:

Danilo Pezo – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Victoria Arronis – Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en
Tecnología Agropecuaria de Costa Rica
José Luis Araya – Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica

Fotografías:

Cristobal Villanueva, Francisco Casasola

Contenido

Prefacio	5
1. Introducción	7
2. Estado de los árboles en potreros y en las cercas vivas	9
3. Interacciones entre árbol, pasto y ganado	13
4. Sistema silvopastoril árboles en potreros	15
4.1 Los árboles en potreros	15
4.2 Contribución de los árboles en potreros en la mitigación al cambio climático	15
4.3 Aporte de los árboles en potreros a la adaptación del sistema ganadero al cambio climático	17
4.4 Impacto de los árboles en potreros sobre el suelo y el recurso hídrico	20
4.5 Establecimiento de árboles en potreros utilizando regeneración natural	21
4.6 Costo de establecimiento y mantenimiento	22
4.7 Producción sostenible de madera de árboles en potreros y su aporte a los ingresos de fincas ganaderas	24
5. Sistema silvopastoril cercas vivas	30
5.1 ¿Qué son las cercas vivas?	30
5.2 Tipos de cercas vivas	30
5.3 Contribución de las cercas vivas en la mitigación al cambio climático	31
5.4 Aporte de las cercas vivas a la adaptación del sistema ganadero al cambio climático	32
5.5 Establecimiento y manejo de árboles en cercas vivas	34
5.6 Costos de establecimiento y mantenimiento	39
5.7 Aporte de las cercas vivas en los ingresos de las fincas ganaderas	42
6. Contribución de los árboles en potreros y de las cercas vivas en la conservación de la biodiversidad	46
7. Mantenimiento y monitoreo de los árboles en potreros y en cercas vivas	48
8. Legislación para el aprovechamiento de árboles en potreros y cercas vivas	52
9. Consideraciones finales	55
10. Referencias	56
Anexo 1. Lista de especies	59

Prefacio

En Costa Rica la actividad ganadera genera una serie de beneficios socioeconómicos para el país; según Acosta y Valdez (2012) la actividad aporta alrededor del 10% del PIB nacional. Además, contribuye con más de 200,000 empleos directos e indirectos a lo largo de la cadena de producción. Sin embargo, este sector es el responsable del 28,6% de las emisiones totales del país, cuyas principales fuentes son el metano entérico (62%) y el óxido nitroso (36%) (Chacón et ál. 2014).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio de Ambiente y Energía y socios estratégicos han establecido la Estrategia Nacional para la Ganadería Baja en Carbono vinculada con la política de Costa Rica Carbono Neutral 2021. La cual contempla un plan de acción para responder a las metas del sector ganadero a nivel productivo, socioeconómico y ambiental; asimismo, a los compromisos asumidos por el país en las convenciones internacionales de cambio climático (UNCCC), biodiversidad (CB), degradación de tierras (UNCCD) y a los objetivos de desarrollo sostenible. El país ha definido el NAMA¹ Ganadería como el mecanismo para la implementación del plan de acción de la Estrategia para la Ganadería Baja en Carbono.

Con base al avance mostrado por el país, la cooperación internacional ha mostrado interés en tomar al país como laboratorio para seguir consolidando la estrategia país en el desarrollo de una ganadería competitiva y con bajas emisiones y su posterior escalamiento en países con condiciones agroecológicas similares, principalmente aquellos de la región centroamericana y el Caribe. En ese sentido, la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos (siglas en Ingles USAID) por medio del departamento de Agricultura (USDA) aprobaron los fondos para el Proyecto Ganadería con bajas en emisiones en Costa Rica. Esto se logró bajo el programa EC LEADS² que ya había implementado la fase I en el periodo 2012-2015, en el cual se generó información sobre metodologías, métricas y recopilación de medidas para el desarrollo del sector ganadero de leche con bajas emisiones.

¹ Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas.

² Estrategia de Mejoramiento de Capacidades para el Desarrollo con Bajas Emisiones

El Proyecto Ganadería con bajas en emisiones en Costa Rica (EC LEDSI), tuvo como propósito capitalizar los logros de la primera fase del programa EC-LEDS y apoyar los esfuerzos costarricenses para la promoción de políticas de desarrollo y de disminución emisiones de gases de efecto invernadero en el sector ganadero. Los objetivos de esta segunda fase fueron: fortalecer el sistema de gobernanza para favorecer la implementación de las acciones del NAMA; mejorar la capacidad de las instituciones nacionales para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector ganadero, de acuerdo con las políticas nacionales y obligaciones internacionales; fomentar y facilitar la inversión e implementación de acciones para el desarrollo de un sector ganadero eficiente (extensión y mecanismo financiero).

Como parte del tercer objetivo, fue contemplada la preparación de materiales de extensión para técnicos del sector público y privado como herramientas de apoyo en el proceso de capacitación y asistencia técnica para el desarrollo de una ganadería competitiva con bajas emisiones que fortalezca los medios de vida y la seguridad alimentaria de las familias involucradas a lo largo de la cadena de producción. Además, que contribuya con productos y servicios de alta calidad para los consumidores de los mercados nacionales e internacionales.

En el marco del proyecto fue elaborada una serie de manuales para técnicos en los temas siguientes:

- Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica.
- Los pastos mejorados: su rol, usos y contribuciones a los sistemas ganaderos frente al cambio climático.
- Establecimiento y manejo de sistemas intensivos de pastoreo racional.
- Uso eficiente de fertilizantes en pasturas
- Tecnologías relevantes para la gestión integral del estiércol en fincas ganaderas de Costa Rica.



Muhammad Ibrahim, PhD
Director General

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

1. Introducción

La actividad ganadera, considerando todas las emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) a lo largo de la cadena productiva, contribuye con el 14,5% de las emisiones globales. Las emisiones de GEI en los sistemas ganaderos se deben principalmente a las fuentes siguientes: i) emisiones de metano (CH_4) procedentes de la fermentación entérica; ii) emisiones de metano y óxido nitroso (N_2O) procedentes del manejo del estiércol; iii) emisiones directas provenientes de fertilizantes nitrogenados sintéticos; iv) emisiones de dióxido de carbono (CO_2) procedentes de la utilización de combustibles fósiles debido al uso de maquinaria y equipo agrícola en la finca; y v) emisiones de dióxido de carbono procedentes de los cambios en los usos de la tierra (Gerber *et ál.* 2013).

El incremento en la concentración de GEI en la atmósfera está ocasionando cambios en los patrones de temperatura, precipitación, humedad, vientos y otras variables del clima. Este cambio está generando impactos diversos en la economía, salud y las comunidades en general (IPCC 2013). Por lo tanto, los sistemas ganaderos no son la excepción y tendrán que implementar una serie de buenas prácticas o realizar ajustes en las mismas para contribuir a aumentar la resiliencia ante los efectos del cambio climático, de tal manera que puedan mantener e incluso mejorar de manera sostenible los indicadores productivos, socioeconómicos y ambientales.

El censo ganadero de Costa Rica para el año 2014 reporta un inventario de 37.171 fincas ganaderas, las cuales ocupan un área de 1.044.910 ha de pasturas. Dicho sector contribuye con 37.227 empleos directos (MAG 2015), y un aporte del 20% al producto interno bruto agropecuario (Acosta y Valdez 2014). Asimismo, la actividad ganadera es la responsable del 28,6% de las emisiones totales del país, cuyas principales fuentes son el metano entérico (62%) y el óxido nitroso (36%) (Chacón *et ál.* 2014).

Aunque se considera que los sistemas de producción ganaderos actúan como emisores de GEI, también tienen potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático. La primera vía es la remoción de carbono por medio del suelo y de la biomasa de la cobertura arbórea de los bosques, plantaciones forestales, árboles dispersos en potreros y cercas vivas. Con esta opción algunas fincas tienen capacidad de compensar sus emisiones o incluso tener un balance positivo. La segunda vía es la reducción de emisiones, lo que significa implementar prácticas de fertilización y suplementación diseñadas para hacer un uso más eficiente de los recursos y el uso de estrategias para reducir el gasto de energía en todo el proceso de producción de la finca. Las acciones de mitigación contribuyen con la reducción de los costos de producción y por ende en una mayor competitividad de la agroempresa ganadera.

El área de pasturas de Costa Rica tiene un potencial importante para aumentar la cobertura arbórea por medio de árboles en potreros o cercas vivas. También, la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos podría permitir la liberación de áreas de menor vocación ganadera a bosques a través de regeneración natural.

Los sistemas silvopastoriles de árboles en potreros y las cercas vivas generan una serie de beneficios adicionales, aparte de la leche y/o carne, como sombra y alimento para el ganado, productos maderables y no maderables para uso local o para la venta, restauración y conservación de suelos y mejorar la infiltración del agua para alimentar a los mantos acuíferos subterráneos, dentro de otros. Asimismo, la biodiversidad vegetal de los potreros contribuye con una mayor riqueza y abundancia de la fauna silvestre, ya que se mejoran las condiciones para su desplazamiento, refugio, anidamiento y alimentación. Varias especies de fauna silvestre cumplen funciones en la polinización vegetal, dispersión de semillas, control de plagas de importancia en explotaciones pecuarias y en cultivos agrícolas. Por lo tanto, la diversidad y mayor estructura de la cobertura arbórea a partir de los potreros arbolados y bosques, reúne una serie de rasgos funcionales con potencial para el desarrollo de sistemas sostenibles de producción ganadera con efectos positivos tanto a nivel de finca como de paisaje.

Costa Rica, dentro de las acciones de mitigación nacionalmente apropiadas (NAMA) para el desarrollo de una ganadería sostenible baja en emisiones, ha incluido una serie de buenas prácticas ganaderas entre las que se encuentran los sistemas silvopastoriles (árboles dispersos y cercas vivas). Por lo tanto, el presente manual dirigido a técnicos extensionistas, está enfocado a los árboles en potreros y cercas vivas como elementos que contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático y a la generación de otra serie de beneficios tanto dentro como fuera de la finca.

2. Estado de los árboles en potreros y en las cercas vivas

En Costa Rica es común el uso de árboles en potreros (distribuidos de manera dispersa o en grupos), y en cercas vivas. Este tipo de sistemas silvopastoriles cumplen una diversidad de funciones económicas y ambientales a nivel de finca y de paisaje.

En este país, estudios realizados en sitios de algunas regiones ofrecen información sobre riqueza y estructura de los árboles en potreros (Cuadro 1). En Cañas, Guanacaste, la baja densidad y la presencia de árboles con un diámetro a la altura del pecho mayor podría tener relación con árboles relictos de bosques y manejo de potreros que no permite un incremento de la regeneración natural. El número promedio de especies de árboles en finca varía entre 23 y 34; pero vale la pena destacar que la mayor abundancia de individuos pertenece a pocas especies. Así, en los tres sitios considerados, más de la mitad de los individuos inventariados pertenecen a sólo 10 especies.

Cuadro 1. Principales características de los árboles en potreros en algunas regiones de Costa Rica

Variable	Cañas, Guanacaste	Esparza, Puntarenas	Río Frío, Heredia
Región	Chorotega	Pacífico Central	Huetar Norte
Densidad promedio de árboles (árboles/ha)	7,97	51	23,10
dap promedio (cm)	40,32	26,09	30,85
Número promedio de especies por finca	34,31	NA	22,88
Porcentaje del inventario que representan las primeras diez especies	70,7	65,7	71,7
Fuente	Harvey <i>et ál.</i> (2011)	Villanueva <i>et ál.</i> (2008)	Harvey <i>et ál.</i> (2011)

Las principales especies retenidas en los potreros son aquellas adaptadas a las condiciones agroecológicas y al régimen de manejo de las pasturas. En Cañas y Esparza (trópico seco), varias de las especies dominantes son similares; mientras en Río Frío (trópico húmedo), el patrón de la composición de especies varía un poco (Cuadro 2). Los principales usos de las especies manejadas en los potreros son para madera, leña, alimento para ganado (forraje o frutos) y frutos para consumo humano. Harvey *et ál.* (2011) en un estudio realizado en varios sitios de Costa Rica y otros países de América Central, indican que alrededor de la mitad de los árboles en los potreros tienen uso maderable, casi una tercera parte tienen atributos forrajeros y en menor proporción tienen un uso para leña.

Las cercas vivas, al igual que los árboles en potreros, constituyen un sistema silvopastoril predominante en las fincas ganaderas donde cumplen una variedad de funciones, entre las que destacan, la delimitación de propiedades y división de apartos o potreros. En general las cercas vivas tienen una densidad de baja

Cuadro 2. Resumen de las diez especies más abundantes en los potreros en tres distintos sitios de Costa Rica

Cañas		Esparza		Río Frío	
Especie	Abundancia (%)	Especie	Abundancia (%)	Especie	Abundancia (%)
<i>Tabebuia rosea</i> ^a	12,8	<i>T. rosea</i> ^a	16,5	<i>Cordia alliodora</i> ^a	25,9
<i>Guazuma ulmifolia</i> ^{bcd}	12,6	<i>Acrocomia aculeata</i> ^{de}	11,5	<i>Psidium guajava</i> ^{bd}	22,5
<i>C. alliodora</i> ^a	12,0	<i>C. alliodora</i> ^a	9,1	<i>Pentaclethra macroloba</i> ^a	4,7
<i>A. aculeata</i> ^{de}	10,3	<i>P. guajava</i> ^{bd}	7,9	<i>Citrus sinensis</i> ^e	4,7
<i>Byrsonima crassifolia</i> ^{be}	7,4	<i>Cedrela odorata</i> ^a	5,5	<i>Citrus limón</i> ^e	3,1
<i>Tabebuia ochracea</i> ^a	4,5	<i>Guazuma ulmifolia</i> ^{bcd}	4,2	<i>Cocos nucifera</i> ^e	2,6
<i>Pachira quinata</i> ^a	3,1	<i>Persea americana</i>	3,8	<i>Billia columbiana</i> ^a	2,3
<i>Andira inermis</i> ^a	2,9	<i>B. crassifolia</i> ^{be}	3,5	<i>G. ulmifolia</i> ^{bcd}	2,0
<i>Piscidia carthagenensis</i>	2,7	<i>Mangifera indica</i> ^{de}	1,9	<i>Bactris gasipaes</i> ^e	2,0
<i>Acosmium panamensis</i> ^a	2,4	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> ^a	1,8	<i>Zanthoxylum kellermanii</i>	1,9

^a Especies maderables ^b Especies para leña ^c Forraje para consumo de ganado ^d Frutos para consumo de ganado ^e Frutos para consumo humano

La lista completa de las especies observadas en los potreros de las tres regiones estudiadas se incluye en el Anexo 1.

a mediana; la mayoría de los individuos son plantados usando postes vivos (brotones) y pertenecen a pocas especies que tienen la característica de propagarse asexualmente. Las especies varían según la zona de vida donde se encuentra la finca. Por ejemplo en Cañas, Guanacaste, que es una zona de bosque seco tropical, las especies jiñocuabe (*Bursera simaruba*) y pochote (*Pachira quinata*), representan a más del 80% de los árboles. Mientras, en Río Frío, Sarapiquí, que es una zona de bosque húmedo tropical, individuos de las especies poró (*Erythrina costaricensis*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) representan a más del 80% de los árboles inventariados en estudios previos (Cuadro 3).

En las fincas ganaderas existe potencial para incrementar la densidad y diversidad de árboles en potreros y en cercas vivas para mejorar las funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. La parte ambiental abarca lo relacionado con la conservación de la biodiversidad, el suelo, el agua y el secuestro de carbono como medidas de mitigación al cambio climático.

A nivel productivo y socioeconómico, los árboles en potreros y cercas vivas pueden diversificar e incrementar los ingresos de las familias por medio de productos como madera, postes, leña, semillas, forrajes, frutos y otros bienes y servicios con potencial de comercializarse o usarse en la finca. Los árboles de este tipo de sistemas silvopastoriles son fuente de alimento de alta calidad para el ganado por medio de hojas y frutos, a veces en periodos críticos donde no existe disponibilidad de pasto, lo cual ayuda a mantener las actividades productivas y reproductivas del ganado. También ofrecen sombra que mejora el bienestar del ganado, lo cual se traduce en incrementos en la producción de leche, carne y en la tasa reproductiva. Las funciones anteriores son ejemplos claros de que los árboles en potreros y cercas vivas constituyen medidas de adaptación al cambio climático.

La mayor diversidad y cobertura de estos sistemas silvopastoriles en fincas contribuye con la conservación de la biodiversidad, o sea, una mayor riqueza y abundancia de fauna silvestre que cumple funciones en términos de polinización, dispersión de semillas, control biológico de parásitos del ganado y de plagas

Cuadro 3. Abundancia y distribución de cercas vivas en fincas ganaderas de Cañas y Río Frío, Costa Rica

Variable	Cañas	Río Frío
Fincas con cercas vivas (%)	89	87
Promedio de cercas vivas en pasturas (km/ha)	0,14±0,02	0,34±0,05
Número promedio de especies de árboles por cerca viva	4,10±0,14	1,38±0,04
Árboles plantados (%)	92,2	86,6
Cinco especies de árboles más comunes en cercas vivas (% del total de árboles inventariados)	<i>B. simaruba</i> (54,2%), <i>P. quinata</i> (27,6%), <i>Ficus</i> spp. (3,8), <i>G. sepium</i> (1,9%), <i>T. rosea</i> (1,9%)	<i>E. costaricensis</i> (75,6%), <i>G. sepium</i> (11,1%), <i>C. alliodora</i> (2,8%), <i>B. simaruba</i> (2,6%), <i>Dracaena fragrans</i> (1,8%)

Fuente: Harvey et ál. (2005)

en cultivos agrícolas y además, tiene relación con el turismo de avistamiento de aves u otros organismos. Los árboles en potreros y las cercas vivas son elementos importantes en los paisajes agropecuarios para la conectividad o formación de redes de corredores biológicos entre los usos de la tierra productivos y de conservación. La función anterior, para algunas especies de mamíferos podría significar el aprovechamiento de los beneficios de la variabilidad genética e incluso la supervivencia.

Asimismo, cumplen funciones de mejorar las características físicas y químicas del suelo, lo cual se podría ver reflejado en un incremento de materia orgánica, lo que tiene relación con la remoción y almacenamiento de carbono. La materia orgánica mejora la estructura del suelo y ello contribuye con una mayor infiltración del agua de lluvia para alimentar los mantos acuíferos subterráneos.

Por medio de la fotosíntesis los árboles en potreros y las cercas pueden remover carbono atmosférico y lo fijan en forma de biomasa. La cantidad de carbono removido dependerá de la zona agroecológica, la composición, densidad de árboles en el potrero, la edad y el manejo silvicultural. Por lo tanto, es importante buscar un mayor rendimiento de biomasa de la cobertura arbórea para asegurar una mayor remoción de carbono que contribuya con la compensación de las emisiones de carbono de la finca.

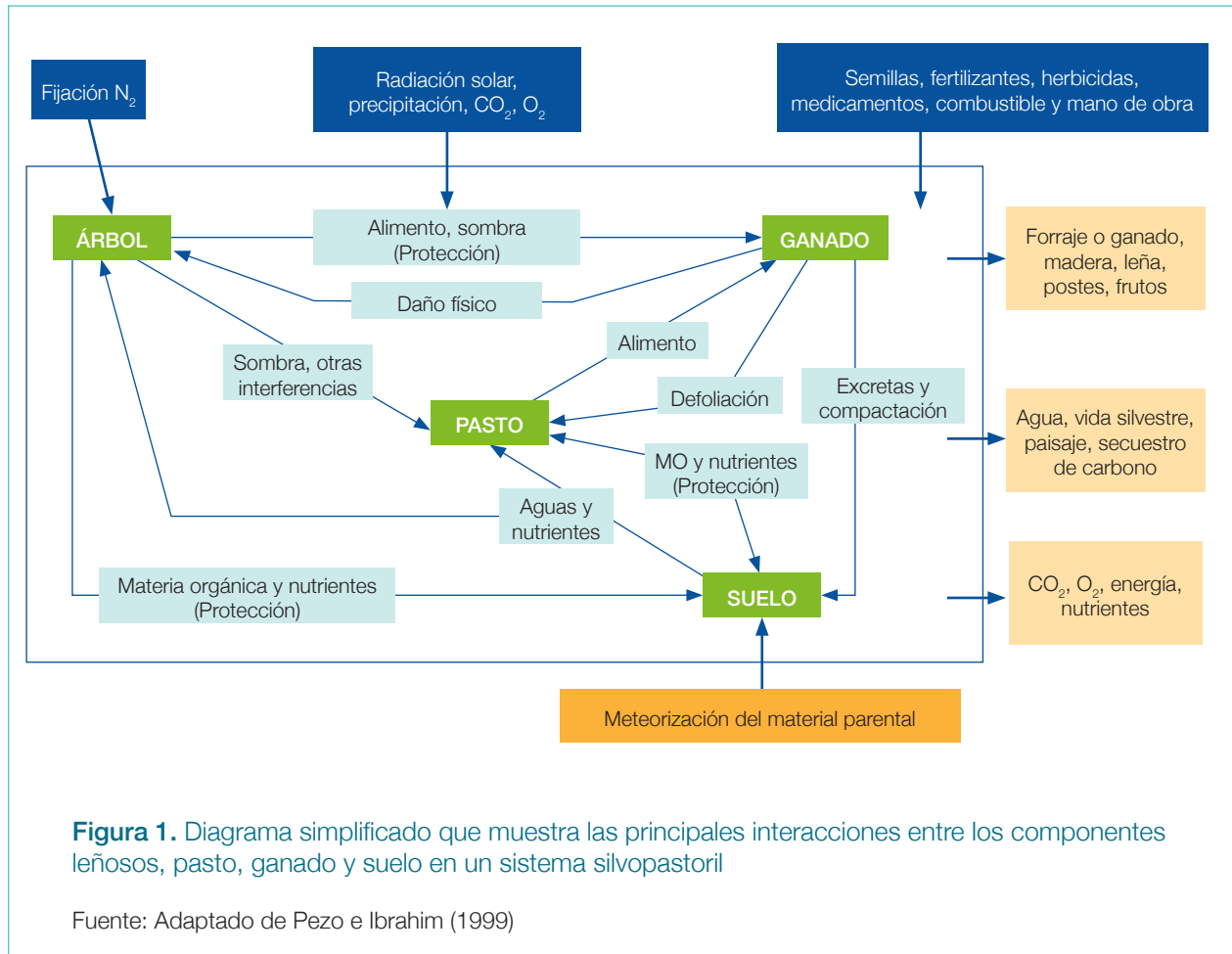


Paisaje dominado por la actividad ganadera con árboles en potreros y cercas vivas.



3. Interacciones entre árbol, pasto y ganado

En los sistemas silvopastoriles (árboles en potreros, cercas vivas y otras modalidades), existen interacciones positivas y negativas entre los componentes árbol, pasto, suelo y ganado (Figura 1). Lo importante es entender las interacciones (en otras palabras los efectos), entre los componentes del sistema para implementar un diseño y manejo que permita maximizar la expresión de los efectos positivos y minimizar los negativos. Lo anterior significa el manejo y arreglo espacial de especies leñosas con arquitectura de copas livianas a moderadas para una mayor entrada de luz a los estratos bajos, el uso de pastos tolerantes a la sombra, el manejo de una carga animal y categoría de ganado acorde a las condiciones del sistema (disponibilidad de pasto, edad y especie de la leñosa), y del clima. En muchos de los casos no se atienden estas relaciones, lo cual deriva en la degradación de las pasturas, baja respuesta del ganado e incluso daños físicos a las leñosas y compactación del suelo por parte del ganado. Para que la familia propietaria tome las mejores decisiones en el manejo del sistema en forma oportuna, es importante que cuente con las condiciones permanentes para adquirir conocimiento, experiencias, habilidades e instrumentos financieros que faciliten las inversiones en la finca; aparte de un mercado seguro y que valore la calidad diferenciada de los productos.





4. Sistema silvopastoril árboles en potreros

4.1 Los árboles en potreros

Los árboles en potreros son una modalidad de los sistemas silvopastoriles en donde estos se encuentran dispersos o en grupos y cumplen una serie de funciones productivas, socioeconómicas y ambientales en la finca. Los árboles en potreros en su mayoría proceden de la regeneración natural, pero también pueden proceder de individuos plantados por medio de estacas, trasplante de plántulas del mismo potrero u otros sitios³ o plántulas de viveros. En ambos casos, para asegurar su crecimiento deben de ser protegidos para evitar daños por el ganado. En Costa Rica, al igual que en los otros países de la región centroamericana, existen árboles semilleros que favorecen la regeneración natural de nuevos individuos en potreros. Las familias productoras prefieren este método en comparación a plantar árboles porque sucede de manera natural, las especies de árboles ya están adaptadas a las condiciones agroecológicas y de manejo de las pasturas y porque es de menor costo.

4.2 Contribución de los árboles en potreros en la mitigación al cambio climático

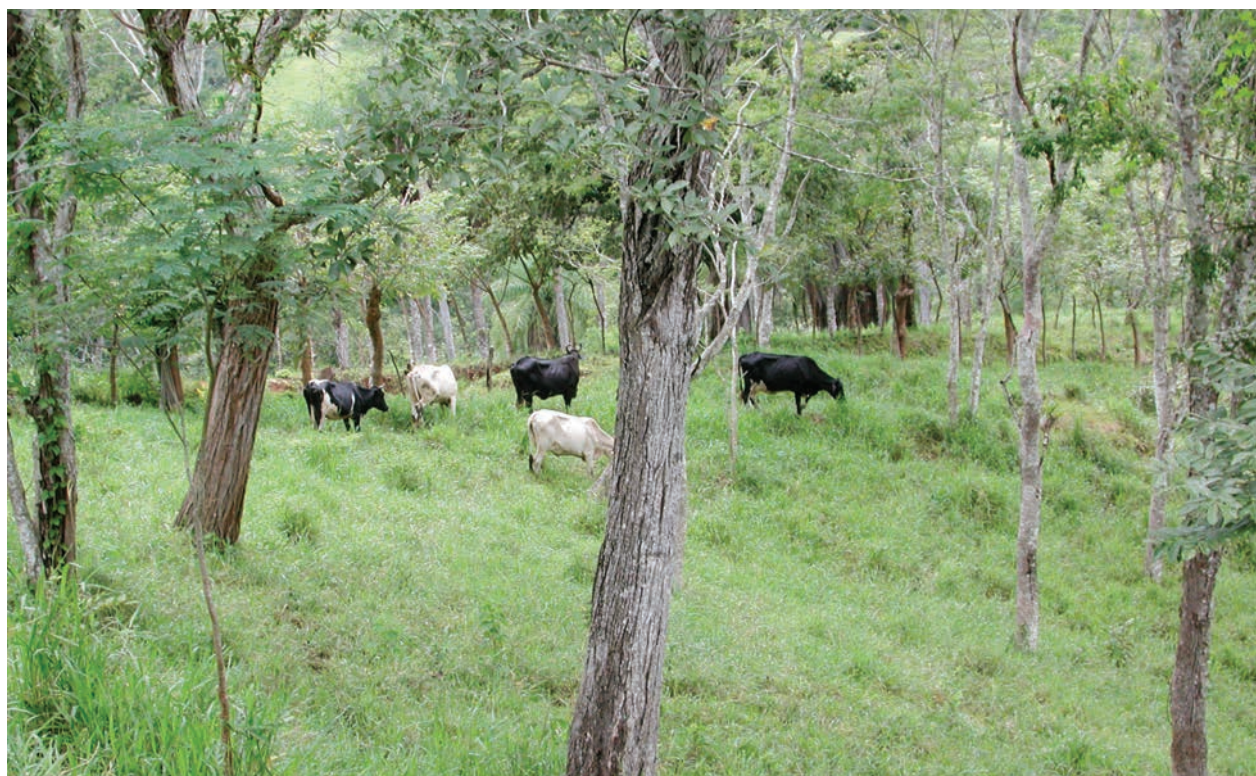
El sistema de árboles en potreros tiene potencial para remover carbono de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea y en el suelo. En este último, este proceso se lleva a cabo por medio de las raíces de los árboles y de los pastos y de la hojarasca de los pastos. La tasa de remoción dependerá de la calidad del sitio, las especies de pastos y leñosas y la densidad de árboles en el potrero. En el Cuadro 4 se presentan resultados sobre fijación de carbono en distintos sistemas silvopastoriles de árboles en potreros. En general las tasas de fijación de carbono varían entre 1 – 5 tC/ha/año. Los sistemas de la zona de vida bosque húmedo montano bajo consideraron el carbono capturado en la biomasa arbórea sobre el suelo y en el suelo por medio de las raíces (árboles y pastos) y de la hojarasca de pastos. Los otros estudios solo incluyen la biomasa de los árboles en potreros. Cuando se considera el carbono del suelo y de la biomasa forestal, las tasas de fijación tienden a ser mayores y constituyen una estrategia valiosa para compensar

3 Otros potreros, usos agrícolas o bosques

las emisiones de la actividad ganadera. De hecho, el suelo con buenas prácticas de manejo, es una de las principales fuentes de remoción de carbono en sistemas de producción agropecuaria.

Los árboles en potreros tienen potencial para la mitigación al cambio climático tanto a nivel de finca como a nivel de paisaje. A nivel de finca han mostrado capacidad de almacenar entre 1,6 y 22 tC/ha, lo cual depende de la densidad de árboles, estructura y manejo silvicultural (Ibrahim *et ál.* 2007; Chacón *et ál.* 2008; Chacón y Harvey 2013). Mientras en un paisaje de 729 ha, los árboles en potreros han acumulado en la biomasa 8500 tC, lo que representa el 13% del paisaje (Chacón *et ál.* 2008).

Una pregunta frecuente podría ser: ¿cuál es el potencial de compensación de los árboles en potreros de las emisiones de carbono en las pasturas? El sector ganadero de Costa Rica según el IMN⁴ (2014), tiene una emisión de 2.467.894 tCO₂e; el censo ganadero del año 2014 reporta un área de pasturas de 1.044.910 ha. Estos datos ofrecen una emisión de 2,36 tCO₂e/ha/año, por lo tanto una pastura para compensar o neutralizar dichas emisiones necesitaría capturar o remover 0,65 tC/ha/año. La fijación de carbono anterior se multiplica por el factor 3,67⁵ para convertirlo en dióxido de carbono equivalente. Con base a esto se deduce que las pasturas con árboles dispersos o en grupo bien manejadas tienen el potencial de



El sistema silvopastoril árboles en potreros es un elemento que predomina en las fincas ganaderas.

4 Instituto Metereológico Nacional

5 Este factor representa la relación del peso molecular del carbono contenido en el dióxido de carbono, o sea 44/12 (IPCC 2003).

Cuadro 4. Tasa de fijación de carbono en sistemas silvopastoriles de árboles en potreros en distintas zonas de vida de Costa Rica

Zona de vida	Descripción del sistema silvopastoril árboles en potreros	Tasa de fijación (tC/ha/año)	Referencia
Bosque húmedo montano bajo*	<i>Pennisetum clandestinum</i> + árboles	5,1	Mora 2001
	<i>Cynodon nlemfuensis</i> + árboles	4,9	
	<i>C. nlemfuensis</i> monocultivo	4,8	
Boque subhúmedo tropical	Pastura degradada	0,04	Ibrahim et ál. (2007)
	<i>Brachiaria brizantha</i>	1	
	<i>B. brizantha</i> + árboles	1,3	
Bosque seco tropical	Pastura mejorada sin árboles	0,7	MAG/CATIE (2010)
	<i>B. brizantha</i> con baja densidad de árboles**	0,91	
	<i>B. brizantha</i> con alta densidad de árboles***	1,34	

menos de 30 árboles/ha. *más de 30 árboles/ha. Los árboles son aquellos con un diámetro a la altura del pecho mayor a 10 cm.

producir carne o leche de manera competitiva y de compensar las emisiones de carbono de la actividad ganadera. Incluso se podría apostar a un escenario con balance positivo, donde las remociones de carbono son mayores que las emisiones. Esa condición podría darle ventajas en el mercado internacional a los productos ganaderos de Costa Rica, por ejemplo carne o leche carbono neutro.

4.3 Aporte de los árboles en potreros a la adaptación del sistema ganadero al cambio climático

La actividad ganadera por un lado es una fuente emisora de gases de efecto invernadero, principalmente metano producto de los procesos digestivos y del estiércol; óxido nitroso de los fertilizantes nitrogenados, del estiércol y la orina y dióxido de carbono procedente del uso de combustibles fósiles en vehículos, maquinaria y equipo de la finca. Por otro lado, el cambio o variabilidad climática producto del incremento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, está afectando a diferente nivel los procesos productivos y reproductivos de la actividad ganadera (vulnerabilidad⁶) con implicaciones en la productividad e ingresos de las fincas.

6 Es el grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos. Un sistema es vulnerable en la medida en que esté expuesto a un peligro (IPCC 2012).

La adaptación según el IPCC (2007), es el ajuste de los sistemas de producción para aumentar la resiliencia ante el cambio climático. Además, tiene importancia a nivel local y está relacionada con la sostenibilidad.

Entre las funciones que cumplen los árboles en potreros y que tienen relación con la adaptación de la actividad ganadera al cambio climático están los recursos alimenticios para la alimentación animal en la época seca y la sombra para un mayor bienestar del ganado.

En los potreros existen varias especies de árboles que dentro de sus funciones están la producción de frutos que son consumidos por el ganado, especialmente en la época seca cuando se reduce la disponibilidad y calidad de pasto. La fenología de las especies varía en cuanto a la época de producción de frutos, lo cual permite que exista una disponibilidad de a lo largo de la época seca. Esquivel (2010), realizó un estudio en fincas ganaderas de Cañas, Guanacaste, en donde encontró que la producción de frutos varía entre 8,6 a 86,0 kg/árbol/año para *A. aculeata* y *E. cyclocarpum*, respectivamente. La calidad de los frutos en términos de proteína cruda y digestibilidad in vitro de la materia seca es mayor que la del pasto predominante en la zona (*B. brizantha*), que presenta valores de 4,9 y 46,2 respectivamente (Cuadro 5). Aparte de los frutos, algunas especies de árboles también ofrecen follaje para la alimentación del ganado. Ambos recursos sumados a la estrategia de alimentación de la finca permiten mantener o mejorar la producción animal a lo largo del año.

La sombra de los árboles incrementa la producción de leche y/o carne dentro del rango de 10 a 22% en comparación a potreros sin árboles. Esto se atribuye a que la sombra reduce el estrés calórico del ganado, lo que permite gastar menos energía y consumir más alimento (Souza 2002, Restrepo *et ál.* 2004; Cuadro 6).

El estrés calórico también afecta el comportamiento reproductivo del ganado al darse una disminución de la intensidad de celos, la concepción de las vacas puede verse afectada entre un 30-40% del hato lechero, muerte embrionaria que ocurre entre los 4-5 días y entre los 24-30 días de la concepción. Estos trastornos en la reproducción significan una ampliación del intervalo entre partos y reducción del número de vacas en producción que afectarán la eficiencia económica de la finca (Lozano *et ál.* 2010). En el caso de la finca del

Cuadro 5. Producción y calidad de frutos de árboles en la época seca en potreros de Cañas, Guanacaste

Especie	Producción anual (kg/árbol)	Proteína cruda (%)	Digestibilidad in vitro de la materia seca (%)
<i>Acrocomia aculeata</i>	8,6	5,5	66,4
<i>Guazuma ulmifolia</i>	26,4	7,5	62,8
<i>Samanea saman</i>	36,1	15,6	71,5
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	86,0	13,2	67,8

Fuente: Esquivel (2010)

CATIE⁷, el sistema de registros indica que cada día adicional arriba del periodo normal del intervalo entre partos (365 días), tiene un costo de oportunidad/vaca de aproximadamente \$US5. Este valor procede del ingreso neto por la producción de leche que se deja de producir en esa condición fisiológica.

Cuadro 6. Efecto positivo de la sombra de los árboles en potreros en la producción de leche en el trópico húmedo de Costa Rica

Potreros	Producción de leche (kg/vaca/día)	Tasa respiratoria (respiraciones/minuto)
Con árboles (10-15% de sombra*)	12,7	65
Sin árboles	11,1	80

*Este valor equivale a la cobertura de la copa de los árboles en el potrero

Fuente: Souza (2002)



Los árboles en potreros contribuyen con la adaptación y mitigación al cambio climático de las fincas ganaderas y otros beneficios para el suelo y el ciclo hidrológico.

⁷ Molina, A. 20 jun. 2017. Costo de oportunidad por problemas reproductivos en vacas lecheras (correo electrónico). Turrialba, Costa Rica, CATIE.

4.4 Impacto de los árboles en potreros sobre el suelo y el recurso hídrico

Una de las consecuencias más importante del establecimiento de SSP es el impacto de los árboles y arbustos sobre el balance hídrico del sistema, ya que cuando leñosas y pasturas comparten el mismo espacio, la menor temperatura presente en el estrato herbáceo bajo la copa de los árboles provoca una disminución en la tasa de transpiración a través de los estomas y menor evaporación. Esto puede retrasar o evitar estrés hídrico, característico del período seco. Las leñosas perennes afectan la dinámica del agua: i) actuando como barreras que reducen la escorrentía; ii) reduciendo el impacto de las gotas (cobertura), y iii) mejorando el suelo al incrementar la infiltración y la retención de agua. Estos impactos dependen del tamaño del árbol, principalmente su altura y la cobertura de copa.

Un estudio llevado a cabo en la región Pacífico Central con la finalidad de conocer el comportamiento hidrológico en sistemas ganaderos tradicionales y silvopastoriles (árboles en potreros), encontró que pasturas nativas sobrepastoreadas presentan una escorrentía superficial cinco a cuatro veces mayor al tacotal (charral o bosque secundario joven), tres a dos veces mayor a la pastura mejorada con árboles y de once a siete veces mayor al banco forrajero de *Cratylia argentea* (Cuadro 7). Esto sugiere que pasturas arboladas y con una buena cobertura herbácea a través del año, son eficientes en la captación de agua de lluvia debido a que incrementan la infiltración (lo cual beneficia la recarga y el sustento del agua subterránea), y presentan menor escorrentía superficial, disminuyendo la erosión laminar (Ríos *et ál.* 2007).

También las potreros con buena cobertura de especies herbáceas y arbóreas contribuyen a la salud de los ecosistemas acuáticos, debido a que la vegetación funciona como un filtro natural y puede atrapar sedimentos y nutrientes (Cárdenas *et ál.* 2007).

Los beneficios hidrológicos que los sistemas silvopastoriles brindan podrían ser traducidos en pagos a productores que manejen sistemas ganaderos amigables con el ambiente. Por lo tanto, un manejo adecuado de fincas ganaderas en el trópico implica la introducción del componente leñoso en pasturas

Cuadro 7. Escorrentía superficial e infiltración de sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en Esparza, región Pacífico Central, Costa Rica

Sistema	Escorrentía superficial (%)	Infiltración promedio (cm/hora) ¹
Pastura nativa sobrepastoreada ²	48	0,07
Pastura mejorada con árboles (>30 árboles/ha)	14	0,23
Banco forrajero de <i>C. argentea</i>	5	0,75
Bosques secundario intervenido	10	3,54

¹ Infiltración promedio a una hora de iniciada la prueba. ² Sistema sin árboles y pastoreo continuo

Fuente: Ríos *et ál.* (2007)

y el manejo de fragmentos de bosques en aquellas zonas críticas (áreas de recarga hídrica, nacientes o vulnerables a deslizamientos), con la finalidad de sostener la base productiva y económica de la finca y simultáneamente conservar su integridad.

4.5 Establecimiento de árboles en potreros utilizando regeneración natural

El sistema cuando ya está establecido, solo considera los árboles. Sin embargo, cuando se trata de establecer un sistema nuevo es necesario considerar los principales componentes como árboles, pastos y ganado. En esta etapa, los materiales, los recursos financieros, el aporte técnico y el apoyo de la comunidad, son cruciales.

Cuando no existe experiencia en la zona, es altamente recomendable probar primero el sistema a una escala pequeña y luego llevar a cabo un análisis de costo-beneficio; se debe ser cauteloso acerca de ampliar cualquier nuevo sistema.

El establecimiento de un sistema silvopastoril de árboles en potreros utilizando la regeneración natural incluye las fases siguientes: selección de la especie, la preparación del sitio, propagación de los árboles, plantación de árboles, establecimiento de pastos y mercadeo.

4.5.1 Selección de la especie

Para una adecuada selección deben emplearse los criterios siguientes:

- Que el producto generado tenga alto valor comercial
- Que cumpla con diversas funciones o que sea multipropósito
- Que el follaje y frutos no sean tóxicos para el ganado
- Que no generen efectos alelopáticos al pasto o viceversa
- Que tenga raíces profundas y que tolere la competencia por luz, agua y nutrientes
- Que la especie sea resistente al fuego, al ataque de plagas y enfermedades
- Que la especie sea fácil de propagar (Casasola *et ál.* 2003)
- Tanto en especies de pastos como en leñosas es importante la calidad, el precio y la disponibilidad de la semilla

La familia productora con base en estos criterios debe seleccionar las especies de árboles para contribuir a los objetivos del plan de negocios de la finca ganadera enfocado en la producción animal (leche y/o carne), y la generación de otros productos maderables y no maderables. La decisión es de las familias propietarias con la orientación técnica de los extensionistas, y lo que se busca es diversificar y mejorar la eficiencia productiva, económica y ambiental. Es importante que tanto el productor y su familia, con apoyo del técnico, conozcan experiencias exitosas en la zona sobre las especies arbóreas que han funcionado mejor según el objetivo de producción (madera, postes, frutos, etc.). Ese mecanismo de decisión garantizará el alcance de las metas del plan de finca.

4.5.2 Preparación del sitio

La preparación del sitio puede ser mínima y tiene relación con la limpieza de la hierba alrededor de la planta (plateo o ronda de aproximadamente 0,5 m) y su protección.

4.5.3 Propagación de los árboles

Se recomienda regeneración natural porque es la opción de menor costo y compatible con la cultura productiva de las familias productoras. Para este método es crucial el mantenimiento de árboles semilleros en los potreros con buenas características de forma y salud. También, es posible establecer árboles en potreros usando plántulas de viveros, replantes de plántulas nativas del bosque y de las mismas pasturas, brotones y estacas. En todos los casos, los individuos deben ser protegidos en los primeros años contra daños del ganado para asegurar una alta tasa de prendimiento, crecimiento rápido y calidad de la planta.

Las semillas de las pasturas se pueden comprar en los mercados locales u obtener de la autoproducción. Se deben hacer pruebas a nivel de ensayo para probar la calidad y la tasa de germinación de las semillas.

Los animales se pueden comprar en los mercados locales o vecinos; al momento de la compra se debe poner atención, al menos, al estado de salud. Es posible que el sistema ya tenga los potreros y el ganado, como ocurre en la mayoría de los casos, por lo tanto estas recomendaciones solo aplican para la parte arbórea.

4.5.4 Plantación de árboles y establecimiento de pastos

Si el ganadero no conoce bien las técnicas de establecimiento de árboles y pastos, se le debe proporcionar asistencia técnica. Se debe utilizar un plan de trabajo bien organizado que detalle y asegure la siembra de pastos (en los casos donde aplique), y de árboles. El tiempo de siembra tiene que coincidir con el inicio de la estación lluviosa.

4.5.5 Mercadeo

Es la etapa final para transferir productos del sistema silvopastoril hacia ingresos reales; incluye los siguientes pasos:

- Selección de mercados objetivo
- Añadir valor a los productos
- Ofrecer productos a los compradores
- Establecer el precio
- Promoción de los productos

4.6 Costo de establecimiento y mantenimiento

El costo de establecimiento de una pastura con arbolitos de regeneración natural es de US\$667/ha (Cuadro 8). En este costo se contempla el establecimiento del pasto, la protección del potrero por medio de cercas eléctricas y el manejo de la regeneración natural.

El costo de mantenimiento alcanza los US\$79/ha/año. Esta tarea incluye el control químico y manual de malezas, regulación de sombra de los árboles (generalmente podas), y el manejo de los individuos seleccionados de la regeneración natural como podas, chapeas y rondas individuales. Las actividades de manejo del componente arbóreo se explican con mejor detalle en la sección Mantenimiento y monitoreo de los árboles en potreros y cercas vivas, de este manual.

Cuadro 8. Costo de establecimiento y mantenimiento de una pastura con árboles de regeneración natural

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$US)	Costo total (\$US)
Establecimiento de la pastura				
Chapia del terreno	Jornal	1,5	24,52	36,78
Aplicación de herbicida	Jornal	2,5	24,52	61,30
Siembra del pasto	Jornal	0,5	24,52	12,26
Aplicación de fertilizante	Jornal	1	24,52	24,52
Manejo de malezas y sombra	Jornal	1	24,52	24,52
Manejo de árboles de regeneración natural	Jornal	1	24,52	24,52
Semilla de pasto	Kg	6	24,78	148,70
Insecticida	kg	1	4,35	4,35
Herbicida	lt	3	3,60	10,79
Herbicida	lt	1	8,56	8,56
Adherente	lt	0,8	5,98	4,78
Fertilizante	Kg	46	0,48	22,22
Cercado del terreno con cerca eléctrica	km	0,4	710,29	284,12
Costo establecimiento de la pastura				667,43
Costo de mantenimiento				
Manejo de malezas y sombra	Jornal	0,5	24,52	12,26
Aplicación de herbicida	Jornal	0,5	24,52	12,26
Manejo de árboles de regeneración natural	Jornal	2	24,52	49,04
Herbicida	lt	0,5	7,62	3,81
Adherente	lt	0,2	5,98	1,20
Costo de mantenimiento				78,57

Tasa de cambio: 1 US\$= 575 colones

El costo de establecimiento y mantenimiento es una referencia, el monto puede variar según condiciones de cada finca como composición de las especies arbóreas, densidad de árboles, especies de pastos y densidad de malezas en el potrero. Es recomendable determinar para cada región este tipo de información según los escenarios que existan y directamente en la finca, ya sean las piloto o las fincas escuela utilizadas en el programa de extensión de la Estrategia Nacional de Ganadería baja en Carbono.

4.7 Producción sostenible de madera de árboles en potreros y su aporte a los ingresos de fincas ganaderas

Los árboles en potreros, según las especies y manejo silvicultural, tienen potencial para producir productos maderables para uso en la finca o para la venta tales como postes, madera rolliza o de aserrío. Desde luego que para el aprovechamiento se deben de seguir las orientaciones que establece el marco legal del país, las cuales se incluyen en la sección “Legislación para el aprovechamiento de árboles en potreros y cercas vivas”, del presente manual. A continuación se presenta un estudio de caso a partir de la investigación sobre la “Estimación de los beneficios económicos del aprovechamiento maderable sostenible en sistemas silvopastoriles y su potencial bajo diversos esquemas de aprovechamiento y trámites simplificados”, Scheelje (2009). La cual tuvo como objetivo analizar los beneficios financieros del aprovechamiento maderable sostenible en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica.

4.7.1 Estudio de caso

Descripción del estudio

El estudio se llevó a cabo en fincas ganaderas de la región de Esparza, provincia de Puntarenas, perteneciente a la región del Pacífico Central de Costa Rica en el marco del proyecto CATIE-GEF-Banco Mundial “Enfoques Silvopastoriles para el Manejo Integrado de Ecosistemas” (GEF Silvopastoril). Esparza se encuentra ubicado a una altitud entre 50 y 1000 msnm, entre los 10° 09’ de latitud norte y 84° 42’ de longitud oeste. Presenta una temperatura promedio anual de 27°C, con un máximo de 36°C y un mínimo de 23°C. El promedio de precipitación anual varía entre los 1500 a 2000 mm/año. La humedad relativa varía entre 60 y 65% en la estación seca y 80-85% durante la estación húmeda. El área presenta suelos tipo alfisoles, nitrisoles, andisoles y planisoles. La zona de vida es bosque subhúmedo tropical.

La cobertura arbórea en las pasturas estaba dominada por las especies como *Tabebuia rosea*, *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Cedrela odorata*, *Myrospermum frutescens*, *Pachira quinata* y *Albizia guachepele*, las cuales representaban el 67% del total de las 42 especies maderables registradas en los potreros inventariados en Esparza, Costa Rica.

Inventario de los árboles en potreros

De la base de datos del proyecto GEF Silvopastoril fueron seleccionadas ocho fincas por medio de un muestreo aleatorio estratificado. El estrato fue el tamaño de finca, donde se tuvieron las categorías siguientes: pequeñas <25 ha, medianas entre 25-50 ha y grandes >50 ha. En cada finca se realizó un inventario de todos los potreros activos con pasturas naturales o mejoradas

que se encontraron. Dentro de cada potrero seleccionado se consideró la especie y se midieron el diámetro del fuste a la altura del pecho (a 1,3 m) medido con una cinta diamétrica, la altura del fuste y del árbol (medido con un clinómetro y/o mira laser), el diámetro de copa mayor y menor (medido con cinta métrica y/o mira laser) para todos los arboles con un dap >5 cm. Además se realizó un conteo de la regeneración natural presente en el potrero.

Desarrollo del modelo

El modelo fue desarrollado para las ocho fincas en donde, de acuerdo al inventario realizado, variaba el número de fustales por finca en las diferentes clases diamétricas. Se recogió la información de los costos e ingresos de la actividad ganadera y forestal que luego fueron calculados por hectárea para un período de 10 años como horizonte del proyecto. En la actividad ganadera como parte de los costos efectivos y no efectivos se incluyeron la mano de obra e insumos usados en los componentes ganado, pastos, bancos forrajeros, árboles en potreros, cercas vivas, transporte de ganado y/o leche. Los ingresos efectivos y no efectivos (autoconsumo), fueron calculados para cada producto sobre la base de la producción y precios de venta reportados por cada uno de los productores entrevistados.

La productividad maderera para todas las especies registradas en cada finca se calculó el diámetro, área basal, altura y volumen total de madera para los 10 años del horizonte del proyecto. Se utilizó un incremento medio anual (IMA), promedio en diámetro y altura por agrupación de especies según su categoría de crecimiento (lento, mediano y rápido), de acuerdo a las clases diamétricas o de altura en las que se encontraban.

Con respecto a los costos e ingresos de la actividad forestal, para todas las fincas se modeló el componente arbóreo disponible en todos los potreros activos inventariados. Asimismo, se asumió costos de manejo de regeneración natural con base en el número total de individuos presentes en cada finca para el primer año y modelando a partir del segundo año, un número inicial de 20 brinzales/ha. Los costos fueron divididos en labores e insumos: para el primer caso se consideraron los costos sin proyecto sumado a los costos de operación (mapeo de la finca, identificación y marcación de árboles semilleros y de cosecha y acceso a la legalidad), y el manejo de regeneración natural (trasplante de árboles de regeneración natural y limpieza de potreros), en la condición con proyecto para cada finca. En el caso de insumos se consideraron los mismos que para la situación sin proyecto, sumados a los insumos forestales (insecticidas) para la condición con proyecto.

Se construyó la estructura de costos e ingresos para cada una de las fincas con la finalidad de obtener un flujo de caja anual, que tomó en cuenta los siguientes criterios y supuestos: un horizonte de 10 años; el crecimiento anual de los árboles para madera fue simulado en relación al incremento medio anual por clases diamétricas y altura de las especies registradas en Esparza según su categoría de crecimiento (lento, mediano y rápido); los árboles cosechados cada año fueron aquellos con un diámetro mínimo de corte (DMC), superior a los 40 cm y un 10% del total fueron retenidos como árboles semilleros según calidad del fuste, copa y estado sanitario; se establecieron los costos por manejo de regeneración natural los cuales incluyeron trasplante de plántulas de potreros con mayor densidad a potreros con menor densidad, se consideró un 30% de mortalidad del trasplante; se establecieron costos de operación para el marcado de árboles

semilleros y a cosechar, digitalización de mapas de la finca y costos de acceso a la legalidad; la tasa de descuento utilizada fue de 5,97% a partir de la tasa nominal y la de inflación; para el caso de manejo de la cobertura arbórea se asumió que en los primeros años, debido a que había aprovechamiento cada año no era necesario un manejo con raleos. Sin embargo, en los años siguientes, para controlar que el porcentaje de cobertura de árboles con valor comercial no pasara de 17%, se propuso aplicar raleos y además aprovechar más árboles.

Determinación y manejo de árboles de futura cosecha

Los árboles de futura cosecha son todos aquellos de interés comercial, que estén sanos y vigorosos, pero que su dap sea menor al DMC. Se debe de conocer el número de individuos a retener en los potreros de las fincas, así como su distribución y abundancia, de tal manera que se evite tener potreros con una cobertura de árboles maderables menor del 10% y mayor al 17%. Además, es importante mantener un mínimo de 20 plántulas de especies maderables⁸ de regeneración natural/ha cada año, con la finalidad de lograr una producción sostenible de madera. Las actividades de manejo deben de ser realizadas todos los años en los que exista aprovechamiento, con la finalidad de tener en los potreros una cobertura promedio de 17% de árboles maderables comerciales/ha y un 10% con especies para otros usos (por ejemplo frutos, melíferas, etc.). Se propuso realizar el primer aprovechamiento, dependiendo de la especie, a partir del año 30 y después esperar contar con un sistema anual de aprovechamiento sostenible.

Cobertura de árboles en potreros

Se estimó que se requiere del manejo de una cobertura entre 10 y 17% de árboles maderables para la producción sostenible de madera comercial. Tomando la referencia anterior, solo tres fincas mostraron este rango de cobertura (Cuadro 9). Por lo tanto, es importante el manejo de la regeneración natural para mejorar la distribución de individuos en los distintos estadios y con ello asegurar la producción de madera todo el tiempo. El plan de manejo de la regeneración natural contempla lo siguiente:

- Primer año, conservar 20 plántulas/ha de especies maderables comerciales y realizar un trasplante en caso de que no exista una distribución uniforme en los potreros.
- Segundo año, realizar una o dos chapeas manuales dependiendo de la agresividad de los pastos y un plateo a los árboles que sobrevivieron del año anterior, tratando de mantener un aproximado de 12 árboles/ha, considerando la mortalidad. Adicionalmente, en la medida de lo posible, tratar de disminuir la carga animal en dicho potrero a la mitad, para evitar daños a los plantones establecidos.
- Tercer año, se realiza un primer raleo de los árboles, dejando un promedio de 5 individuos/ha, según sus características fenológicas, evitando árboles con bifurcaciones, torceduras, con presencia de enfermedades, débiles, sinuosos, etc. A los 5 árboles seleccionados se les realiza una poda de formación.
- Cuarto y quinto año, realizar una limpieza del potrero al año y un plateo manual alrededor de los árboles en el área.

8 Principalmente de las especies maderables de importancia comercial para la zona tales como *C. odorata*, *C. alliodora*, *A. guachepele*, *E. cyclocarpum*, *T. rosea*, *Swietenia macrophylla*, *Samanea saman*, *M. frutescens*.

- Sexto y séptimo año, realizar por lo menos una limpieza manual del potrero al año.
- Octavo año, se debe de realizar un segundo raleo, eligiendo los dos individuos con mejores características físicas para su aprovechamiento con fines maderables. Este raleo puede ser considerado como raleo comercial, considerando que los individuos a ralear pueden dar productos como postes pequeños o leña. Por lo tanto, para la cosecha se retienen 3 árboles/ha.

Cuadro 9. Categorías de árboles y cobertura arbórea en las pasturas de fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica

Finca no.	Área pasturas (ha)	Brinzales (No./ha)*	Latizales (No./ha)**	Fustales (No./ha)***	Cobertura arbórea (%)
209	12,69	5,67	0,33	16,33	7,1
229	12,02	17,71	4,43	20,71	10,6
241	8,15	11,44	3,22	18,67	13,7
253	15,56	2,33	0,33	14,67	12
262	25,5	17,19	7,5	11,75	5,8
278	14,01	15,5	4,07	16,57	6,8
285	17,48	2,38	0,63	6,25	6,5
315	12,14	4,5	1,1	10,7	8,5

*Individuos con altura $\geq 0,3$ m y un dap < 5 cm. **Individuos con dap ≥ 5 y < 10 cm. ***Individuos con dap ≥ 10 cm

Fuente: Scheelje (2009)

Contribución de la producción ganadera y maderable en el ingreso neto de las fincas

El ingreso neto por hectárea para la actividad ganadera corresponde a la situación sin proyecto para las fincas inventariadas en Esparza. El ingreso provino de la venta de leche y derivados y/o venta de ganado dependiendo de cada finca. Las fincas 229 y 262 eran de doble propósito. Es decir, tenían producción de leche y carne (terneros de destete). Hubo cinco fincas de producción de ganado para carne y solamente la 285 productora de leche. El ingreso promedio por año varió entre US\$99,6 y 354,2 /ha (Cuadro 10).

El ingreso por producción de madera constituyó la situación con proyecto, o sea, ganadería y madera. El ingreso del componente arbóreo varió cada año para cada finca, debido a que el aprovechamiento en cada una variaba dependiendo del número de individuos existentes con dap mayor al DMC y al valor comercial de la especie. El ingreso promedio para el periodo varió entre US\$27,02 y 54,33/ha/año (17 y 35%, del ingreso total respectivamente) (Cuadro 10).

Los árboles en potreros tienen el potencial de producir madera y contribuir con ingresos adicionales a las familias propietarias. Sin embargo, es importante generar información de referencia (a nivel de rangos o umbrales), para las distintas regiones sobre el potencial de la producción ganadera y maderera. Estos valores de referencia servirán la motivación para las familias productoras por medio del proceso permanente de innovación en finca.



Los árboles maderables en potreros bien manejados tienen potencial para mejorar y diversificar los ingresos en las fincas ganaderas.

Cuadro 10. Ingreso neto (\$US/ha) de la producción ganadera y maderera en fincas de Esparza, Pacífico Central, Costa Rica

Finca no.	Sistema de producción	Concepto	Año										Promedio	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
209	Carne	Leche + carne	119,2	128,4	128,4	128,4	128,4	128,4	128,4	128,4	128,4	128,4	128,4	127,48
		Madera	57,6	47,6	74,7	51,3	51,9	30,1	59	35,2	35,1	52,2	49,47	
		Madera (%)	32,58	27,05	36,78	28,55	28,79	18,99	31,48	21,52	21,47	28,90	27,96	
229	Doble propósito	Leche + carne	310,3	361	369	369	365	361,1	357,3	353,5	349,7	346,1	354,2	
		Madera	44,2	19,3	26,6	17,8	21,9	26,4	40,4	34,2	46,8	41,8	31,94	
		Madera (%)	12,47	5,07	6,72	4,60	5,66	6,81	10,16	8,82	11,80	10,78	8,27	
241	Carne	Leche + carne	162,1	225,7	225,7	225,7	225,7	225,7	225,7	225,7	225,7	225,7	225,7	219,34
		Madera	40,9	84,8	27,7	16,6	22,9	17	29	23,7	43,7	59,6	36,59	
		Madera (%)	20,15	27,31	10,93	6,85	9,21	7,00	11,39	9,50	16,22	20,89	14,30	
253	Carne	Leche + carne	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	134,8	
		Madera	20,3	93,3	33,1	18,5	36,9	23,6	52,7	74,8	40,6	37,3	43,11	
		Madera (%)	13,09	40,90	19,71	12,07	21,49	14,90	28,11	35,69	23,15	21,67	24,23	
262	Doble propósito	Leche + carne	274	295,5	300,8	300,8	298,2	295,6	293	290,5	288	285,6	292,2	
		Madera	24,3	29,7	45	49,1	25,8	35,9	42,1	51,8	38,7	42,1	38,45	
		Madera (%)	8,15	9,13	13,01	14,03	7,96	10,83	12,56	15,13	11,85	12,85	11,63	
278	Carne	Leche + carne	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	99,6	
		Madera	73,6	55,2	40,2	32,8	62	49,4	72,7	54,1	62	41,3	54,33	
		Madera (%)	42,49	35,66	28,76	24,77	38,37	33,15	42,19	35,20	38,37	29,31	35,30	
285	Leche	Leche + carne	121,6	138,7	143	143	140,9	138,8	136,8	134,7	132,8	130,8	136,11	
		Madera	55,7	26,8	18,1	18	22,1	26,8	18,4	31,2	27,7	25,4	27,02	
		Madera (%)	31,42	16,19	11,24	11,18	13,56	16,18	11,86	18,81	17,26	16,26	16,56	
315	Carne	Leche + carne	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	213,9	
		Madera	23,1	22,8	19,1	30,7	28,1	35,5	35,6	45,8	19,4	41,9	30,2	
		Madera (%)	9,75	9,63	8,20	12,55	11,61	14,23	14,27	17,64	8,32	16,38	12,37	

Fuente: Scheelje (2009)

5. Sistema silvopastoril cercas vivas

5.1 ¿Qué son las cercas vivas?

Las cercas vivas son un arreglo lineal establecido con leñosas (árboles, arbustos y palmas), que sirven de soporte al alambre de púas o liso, cuya finalidad es delimitar la propiedad, marcar divisiones de potreros o usos del suelo en la finca (Budowsky 1987). Una cerca viva puede estar constituida de especies leñosas solamente o de una combinación de especies leñosas con postes muertos.

5.2 Tipos de cercas vivas

Según la composición de especies y estructura, como altura y diámetro de las copas, las cercas vivas pueden ser clasificadas como simples o multiestratos (Murgueitio *et ál.* 2003). Las simples son aquellas que tienen una o dos especies dominantes y manejadas bajo poda a una altura similar. Generalmente, las cercas vivas simples se podan una vez/año en zonas de trópico húmedo y cada dos años en zonas de trópico subhúmedo o seco. En zonas de trópico subhúmedo y seco de Centroamérica las especies más utilizadas por los productores son *B. simaruba*, *P. quinata*, *Spondias* spp. y recientemente la *Jatropha curcas*; en zonas de trópico húmedo *Erythrina berteroana* y *G. sepium* (Muñoz 2004); y en zonas de altura, algunas especies de *Erythrina* spp. (Villanueva 2001) y *Sambucus mexicanus*.

Las cercas multiestratos tienen más de dos especies leñosas de diferentes alturas y usos (maderables, frutales, forrajeras, medicinales, ornamentales, etc.). Contienen varias especies de uso múltiple que se podan frecuentemente (*E. berteroana*, *B. simaruba*, *G. sepium*, etc.) y especies de valor para madera (*T. rosea*, *P. quinata* y *C. alliodora*). También hay especies frutales, como por ejemplo *Spondias* spp. y *Anacardium occidentale*, además de otras de interés para la conservación de la fauna silvestre. Existen buenos ejemplos en Costa Rica, donde especies de uso múltiple como *B. simaruba* y *G. sepium* no se podan frecuentemente y se convierten en corredores biológicos que aumentan la conectividad en paisajes agropecuarios.



Las cercas vivas multiestratos son elementos comunes en los paisajes dominados por la ganadería y ofrecen una serie de beneficios económicos y ambientales.

5.3 Contribución de las cercas vivas en la mitigación al cambio climático

La captura y almacenamiento de carbono en cercas vivas depende de la complejidad, edad, densidad de los árboles, el manejo silvicultural, clima y la calidad del índice de sitio. Las cercas vivas constituyen una fuente de remoción de carbono que contribuye con la compensación de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas ganaderas.

En la región Chorotega se llevó a cabo un estudio para conocer el secuestro de carbono en la biomasa aérea de las cercas vivas dedicadas a la producción de madera de *Tectona grandis*, con manejo de densidades iniciales y finales de 500 y 167 árboles/km respectivamente. El almacenamiento de carbono en distintos sitios varió entre 5 y 195 tC/km y la tasa de fijación entre 1,7 y 8,9 tC/km/año (Cuadro 11). En la cuantificación del carbono de la cerca viva no se están considerando los postes vivos de *B. simaruba* que sujetan el alambre de púas, los cuales también tienen capacidad de secuestrar carbono (Rivera 2015).

Cuadro 11. Secuestro y tasa de fijación de carbono en cercas vivas con producción de madera de *Tectona grandis* en distintos sitios de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica

Sitio	Edad (años)	Secuestro de carbono (tC/km)	Tasa de fijación de carbono (tC/km/año)
Hojancha 1	15	78	5,2
Hojancha 2	9	80	8,9
Hojancha 3	8	55	6,87
Hojancha 4	4	30	7,5
Hojancha 5	3	5	1,7

Fuente: Adaptado de Rivera (2015)

Por otro lado, en un estudio en fincas lecheras de altura (bosque húmedo montano bajo), se determinó el carbono almacenado y fijado en cercas vivas dominadas por *E. berteriana* con una densidad de 630 individuos/km. En dicho sistema el carbono almacenado y fijado fue de 6,3 y 0,63 tC/km/año, respectivamente. Estos valores son menores debido a que los árboles son podados con frecuencia (al menos una vez/año), para mantenerlos a una altura que varía entre 2,3 – 2,5 m; además, esta especie es de madera suave con una fracción de carbono menor a 0,5 (Mora 2001). En estos casos es importante el enriquecimiento de las cercas vivas con otras especies que generen otros productos para la finca (por ejemplo madera o frutales), y que paralelamente contribuyan con la remoción de carbono.

5.4 Aporte de las cercas vivas a la adaptación del sistema ganadero al cambio climático

En la parte de adaptación al cambio climático, las cercas vivas brindan funciones como sombra para el ganado y forraje para la alimentación animal a lo largo del año. Estas condiciones permiten que el sistema sea más resiliente a los efectos del clima como altas temperaturas y periodos largos de sequía.

Uso de sombra para mejorar el bienestar animal

Al igual que los otros sistemas silvopastoriles, las cercas vivas ofrecen sombra para mejorar el confort del ganado en los potreros y con ello reducir el estrés calórico. En un estudio realizado en la finca del CATIE, Turrialba, Costa Rica, con zona de bosque muy húmedo premontano, se tuvo un grupo de 20 vacas Jersey en producción de leche que tuvieron acceso a potreros con sombra de cercas vivas y potreros sin sombra. Las vacas que tuvieron sombra mostraron una tasa respiratoria menor que aquellas en potreros sin sombra (Cuadro 12). Las vacas que tuvieron un mayor bienestar en el potrero mostraron una producción de leche entre el 15 y 20% superior que las vacas en potreros sin sombra. Un mejor confort o bienestar del ganado le permite incrementar el consumo de pasto, aumentar la eficiencia en el uso del agua y de energía para producción de leche y/o carne (Villanueva *et ál.* 2016).

Cuadro 12. Efecto de los potreros con y sin sombra de cercas vivas en la tasa respiratoria de vacas lecheras de la raza Jersey, Turrialba, Costa Rica

Época*	Variables	Hora	Potreros con sombra de cercas vivas	Potreros sin sombra de cercas vivas
Baja precipitación	Tasa respiratoria (No./min)	08:00	51,58±0,52	54,44±0,68
	Tasa respiratoria (No./min)	09:00	59,91±0,73	65,64±1,00
	Tasa respiratoria (No./min)	11:00	71,04±0,81	74,35±1,14
Alta precipitación	Tasa respiratoria (No./min)	08:00	59,01±0,5	63,62±0,68
	Tasa respiratoria (No./ min)	09:00	66,96±0,60	72,68±0,64
	Tasa respiratoria (No./ min)	11:00	76,28±0,68	80,94±0,62

Fuente. Villanueva *et ál.* (2016)

El estrés calórico, como se mencionó anteriormente, tiene implicaciones a nivel reproductivo, disminución de la intensidad de celos, la concepción de las vacas y muerte embrionaria (Lozano *et ál.* 2010). (Sección 4.3 “Aporte de los árboles en potreros a la adaptación del sistema ganadero al cambio climático”).

Las cercas vivas se pueden diseñar y manejar en el espacio para ofrecer la demanda requerida de sombra según el grupo de ganado que pastorea. Por ejemplo, una vaca o animal adulto requiere alrededor de 5 m² de sombra para mitigar el estrés calórico, en el caso de un lote de 100 vacas requerirían 500 m² que además sostendría el alambre de púas, liso electrificado o de otro tipo. Un potrero de 0,5 ha que tenga una dimensión de 100 m de largo y 50 m de ancho equivale a un perímetro de 300 m, en una cerca viva de esa dimensión se podrían establecer y manejar 50 árboles con un radio de copa de 2,5 m y con eso cubrir la demanda de los 500 m² de sombra. Los árboles de sombra se podrían establecer por medio de estacaones vivos distanciados cada 6 m o a una mayor densidad lineal y con podas, mantener al menos los 50 árboles para sombra.

Aporte de forraje

Las cercas vivas con predominio de *E. berteriana* y *G. sepium*, tienen un potencial de producción de forraje para alimentación animal que varía entre 3,5 a 6,0 t MS/km (Romero *et ál.* 1993). Vacas lecheras suplementadas con forrajes de leñosas han logrado producciones de leche de 7,3 y 7,4 kg/ vaca/día para *E. poeppigiana* y *G. sepium*, respectivamente (Camero *et ál.* 2001). Dicha producción tiene potencial de incrementarse según la genética del ganado, la calidad de la dieta base y de otros suplementos alimenticios ofrecidos. En Costa Rica, la mayoría de las cercas vivas contienen especies leñosas que producen forraje con buena calidad para la alimentación del ganado, por lo que es importante su consideración en el plan de alimentación de fincas ganaderas. Las especies más comunes como las indicadas arriba, presentan valores de digestibilidad *in vitro* de materia seca y proteína cruda que varían entre 54 y 64% y 27 y 30%

respectivamente. Asimismo, en los últimos años se ha venido utilizando en zonas húmedas la especie *Trichantera gigantea* con valores de calidad similares a los anteriores.

La cerca viva, es un sistema silvopastoril que permite hacer un uso eficiente del terreno y contribuye en la liberación de áreas para conservación o agricultura, según sea el potencial de uso del suelo.



Las cercas vivas remueven carbono de la atmosfera, ofrecen sombra para mejorar el bienestar animal y según las especies, producen forraje para la alimentación el ganado.

5.5 Establecimiento y manejo de árboles en cercas vivas

Las opciones de establecimiento comprenden una cerca viva nueva, a partir de una cerca muerta y a partir de una cerca viva simple⁹. En todas las opciones es importante analizar las interacciones entre los componentes pasto, ganado y árbol. En esta etapa, los materiales, los recursos financieros, el aporte técnico y el apoyo de la comunidad, son cruciales.

Al igual que para el establecimiento de árboles en potrero, cuando no existe experiencia en la zona, es recomendable probar primero el sistema a una escala pequeña y luego llevar a cabo un análisis de costo-beneficio: se debe mantener cautela acerca de ampliar cualquier nuevo sistema.

⁹ Cuando el plan es el establecimiento de una cerca viva multiestrato o la incorporación de especies para la producción de madera.

El establecimiento de un sistema silvopastoril con cercas vivas incluye las fases siguientes: selección de la especie, la preparación del sitio y la propagación/plantación de los árboles.

5.5.1 Selección de especies

Para decidir cuáles especies de árboles son las más indicadas para una finca, es importante considerar los siguientes criterios:

- Utilizar especies nativas o adaptadas a las condiciones agroecológicas de la zona y compatibles con la cultura productiva de las familias.
- Que existan experiencias o evidencias sobre su manejo, rendimiento y calidad de productos.
- Seleccionar las especies de acuerdo a los productos de interés para la finca y del mercado.
- Disponer del material a utilizar para la propagación (semilla sexual, plántulas o estacas).
- No utilizar especies tóxicas para los animales domésticos y silvestres.
- Ser preferiblemente de uso múltiple (madera, leña, forraje y frutos), y que ayuden a la diversificación de la cerca viva.
- No ser afectadas por las grapas utilizadas para pegar el alambre de púas, en el caso de las especies seleccionadas para la función de sostener el alambre.
- Combinar especies con valor económico y para la conservación de la biodiversidad.
- Que no genere efectos alelopáticos al pasto o viceversa.
- Que tenga raíces profundas y que tolere la competencia por luz, agua y nutrientes.
- Que la especie tenga resistencia al fuego, al ataque de plagas y enfermedades.
- Tanto en especies de pastos como en leñosas es importante la calidad, el precio y la disponibilidad de la semilla.

Las especies a utilizar se agrupan según la zona ecológica y el tipo de suelo (Cuadro 13).

5.5.2 Preparación del sitio

La preparación del sitio implica la limpieza de la franja donde se encuentra o ubicará la cerca viva para reducir la competencia inicial con los arbolitos o plántulas. El ancho de la franja será de 1 m en el caso de una hilera simple para no reducir el área de pasto y de hasta 2 m en los casos de plántulas en hilera doble. Si se utilizaran estacas de pochote, especie maderable de valor comercial usada en las regiones Pacífico Central y Chorotega de Costa Rica, solo se limpia el sitio donde se hará el hueco.

5.5.3 Propagación de los árboles

Luego de la selección de las especies, según los intereses de la familia productora, se elige el método de propagación. En cercas vivas la propagación de árboles ocurre por medio de estacas o brotones, regeneración natural y por medio de viveros. Cuando se establecen estacas se plantan a una distancia de 2 m y a veces, según el objetivo y la disponibilidad de material, la densidad de siembra puede ser mayor o menor. Algunas de las especies que se pueden propagar de esta manera se presentan en el Cuadro 11. La regeneración natural puede ocurrir si existen árboles semilleros en el potrero o en áreas vecinas y podría ser mayor en caso de que una franja de la cerca viva esté protegida; como sucede en el caso de la siembra de plántulas de especies maderables, frutales u otros usos que se utilizan para la diversificación de las cercas vivas.

Cuadro 13. Algunas especies con potencial de uso en cercas vivas según zona ecológica y condiciones de suelo

Nombre común	Nombre científico	Zona de vida*	Suelos*
Itabo**	<i>Yucca elephantipes</i>	bsh-T; bs-T	Todo tipo de suelos y con buen drenaje
Jiñocuabe**	<i>Bursera simaruba</i>	bsh-T; bs-T	Todo tipo de suelos y drenaje libre; pH ácidos y alcalinos; alta tolerancia a la sal
Jocote**	<i>Spondias spp.</i>	bsh-T; bs-T	Desde arenosos a arcillas pesadas, pH 6-8; tolera drenaje pobre o encharcado
Madero negro**	<i>Gliricidia sepium</i>	bh-T; bsh-T; bs-T	Suelos volcánicos, pH mayor a 5, buen drenaje y no tolera suelos salinos
Pochote**	<i>Pachira quinata</i>	bsh-T; bs-T	Suelos fértiles, pH 5,5 – 7,5, buen drenaje o encharcamiento estacional
Poró**	<i>Erythrina berteroana</i> y <i>E. poeppigiana</i>	bh-T; bsh-T	Amplia variedad, pH neutro a ácido, tolera encharcamientos estacionales
	<i>E. fusca</i>	bsh-T; bs-T	Tolera suelos infértiles e inundados temporalmente, pH ácido a neutro y saturaciones de aluminio hasta 80%
Aguacate	<i>Persea americana</i>	bsh-T; bs-T	Suelos francos, buen drenaje, pH ácido a neutro y ricos en materia orgánica
Caoba	<i>Swietenia macrophila</i>	bh-T; bsh-T	Amplio rango de suelos, pH ácido a ligeramente alcalino, tolera encharcamientos estacionales
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	bsh-T	Suelos profundos, fértiles, bien drenados, pH 5-7. No tolera encharcamientos o altos niveles de aluminio
Guachipelín	<i>Diphysa americana</i>	bsh-T; bs-T	Suelos de baja fertilidad, pH ácido a neutro y con buen drenaje
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	bh-T; bsh-T; bs-T	Suelos fértiles, bien drenados y con pH 4,5-6,5
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>	bsh-T; bs-T	Mayoría de suelos, pH 4,3-8,7 y tolera encharcamientos estacionales
Naranja, mandarina, limón agrio	<i>Citrus spp.</i>	bh-T; bsh-T	Profundos, bien drenados, arenosos o arenos arcillosos y pH entre 6,5-7,5
Roble de sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	bsh-T; bs-T	Arenosos aluviales, tolera suelos ácidos e inundaciones ocasionales

bh-T: bosque húmedo tropical; bsh-T: bosque subhúmedo tropical; bs-T: bosque seco tropical; bmhMB: bosque muy húmedo montano bajo. **propagados usando brotones o estacones.

*Fuente: adaptado de Barrance et ál. (2003).

En el caso de especies frutales y maderables, se recomienda la siembra de plantas provenientes de viveros comerciales, dado que establecer un vivero en la finca demanda mucho tiempo, cuidado y podría resultar en mayor costo. Se puede valorar el establecimiento de un vivero comunal que podría tener ventajas para las familias productoras.

Si el plan es establecer un vivero en la finca o área comunal, se comienza definiendo el tipo de plantas a producir, la cantidad y fecha de producción, las variedades y su modo de propagación. Cuando se ha definido lo anterior, el proceso de producción puede realizarse siguiendo los pasos que recomienda Piñuela *et ál.* (2013), descritos a continuación:

- **Selección del terreno**

El sitio debe reunir las características siguientes: clima similar al sitio de la plantación, terreno plano y con buen drenaje, fuente de agua cercana y abundante, vías de acceso cercanas, cercano al sitio de la plantación y sin exceso de sombra.

- **Área del vivero**

Depende de la cantidad y del tipo de plantas a producir y del tipo de envase disponible. El tamaño total del vivero debe ser igual a la suma del área productiva y el área no productiva. El área productiva incluye el espacio ocupado por semilleros; mientras que el área no productiva el espacio ocupado por los depósitos, calles, pasillos, tanques de agua y otras instalaciones. Por ejemplo, para 1000 plantas en bolsas de un kilogramo se requiere de un área aproximada de 10 m².

- **Construcción del vivero**

Este debe contar con la infraestructura mínima requerida como: cercas perimetrales, semilleros o germinadores, envases de crecimiento, pasillos para las carretillas y calles para vehículos de carga, área para almacenamiento de agua de riego, de preparación, y de oficinas y bodegas.

- **Preparación del sustrato**

Los sustratos utilizados pueden ser de origen orgánico tales como turba, aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, compost; o de origen inorgánico como arena, perlita y vermiculita. La tierra debe colarse antes de su uso para eliminar raíces, terrones y otros elementos extraños. La mezcla usada en semilleros o germinadores es una parte de materia orgánica o compost y tres partes de arena o tierra (relación 1:3); en envases (bolsas), la relación es de 1:2, es decir una carretilla de materia orgánica o compost y dos carretillas de arena o tierra. Adicionalmente se pueden agregar hasta 300 g de fertilizante fórmula completa (nitrógeno + fósforo + potasio).

Para la desinfección del sustrato se usa agua hirviendo o alguno de los tratamientos químicos que existen en el mercado. El agua hirviendo se aplica al sustrato y se cubre con algún material para mantener el calor por un tiempo y luego se procede a la siembra. Este método es de bajo costo, no contamina y es el más indicado para productores pequeños.

- **Siembra**

Cuando las semillas son pequeñas la siembra se hace al voleo; cuando son medianas, se realiza en surcos separados de 2 a 5 cm; y cuando son grandes, en hoyos individuales. Generalmente la siembra se realiza a una profundidad igual o dos veces el tamaño de la semilla. En algunos casos

la siembra se puede hacer directamente a la bolsa, cuando las semillas son grandes, de rápida germinación y de buen vigor como es el caso de *T. grandis*.

- **Manejo de plántulas en el semillero**

Incluye el riego una o dos veces por día, en la mañana y/o en la tarde; aplicación de fertilizantes de 2-5 g/planta cada dos meses y de foliares cada tres semanas en dosis según el producto; sombra los primeros 30 días y al momento del trasplante; control de malezas según presencia; control de plagas y enfermedades.

- **Trasplante y manejo de plantas en las bolsas plásticas**

El trasplante consiste en llevar las plantas del semillero al envase (generalmente bolsa plástica); se realiza cuando la plántula tiene entre 7-10 cm de altura. El manejo incluye riego; sombra hasta que salgan las hojitas nuevas; poda de raíz para evitar enrollamiento de la principal y estimular raíces secundarias; movimiento de las bolsas para evitar que echen raíces fuera de la misma; desmalezado de bolsas y caminos; entre otras prácticas.



Trasplante de plántulas a bolsas plásticas del vivero.

- **Aclimatación**

Práctica recomendada para que las plantas toleren los cambios ambientales bruscos y puedan sobrevivir una vez que sean plantadas en campo. Cuando las plantas alcancen el tamaño de trasplante a campo, se debe disminuir la frecuencia de los riegos dos semanas antes y eliminar de forma gradual la fertilización y la sombra.

- **Plantación en campo**

Se descartan todas las plantas inferiores al tamaño de plantación requerido, enfermas o muertas. Una planta de calidad debe tener de 30 a 40 cm de altura, un centímetro de grosor de tallo, abundantes raíces y hojas, parte aérea y raíces equilibrada (casi del mismo tamaño), y que estén sanas y vigorosas (Piñuela *et ál.* 2013).

En cercas vivas, la distancia de siembra más usada para especies maderables o frutales es de 6 y 8 m. Eso significa que se pueden sembrar de 100 a 125 árboles/km lineal (Barrance *et ál.* 2003). En la región Chorotega, Costa Rica, plantan *T. grandis* a una densidad inicial de 500 plantas/km y final de cosecha de 167 árboles/km (Rivera 2015).

5.6 Costos de establecimiento y mantenimiento

Los costos de establecimiento de una cerca viva para producción de madera varían si la cerca es nueva o si se transforma de una ya existente, en cuyo caso es menor. Una cerca nueva tiene un costo de US\$2139 y si procede de una cerca viva simple de US\$571 (Cuadro 14).

En algunas regiones de Costa Rica como la Chorotega y Huetar Norte existen cercas vivas compuestas por la especie que sirve de soporte al alambre y por la de producción de madera comercial. La especie más usada para soportar el alambre es *B. simaruba*, en la región Chorotega, y *Erythrina* spp. o *G. sepium*, en la región Huetar Norte. La especie maderable más frecuente, en ambas regiones, es *T. grandis*. La composición y abundancia de las especies varía según el diseño seleccionado por el productor. Además, es importante identificar de manera participativa especies nativas con valor comercial maderable u otros productos no maderables con potencial de mercado que han mostrado buenos resultados. Es importante documentar los casos exitosos para difundirlos dentro y fuera de la región donde se puedan implementar. De igual manera, surgirán necesidades o vacíos de información que deberán ser respondidos en las fincas piloto o en las fincas escuela vinculadas al sistema nacional de extensión en el marco de la Estrategia Nacional de Ganadería Baja en Carbono.

Para evitar las pérdidas por consumo y/o pisoteo del ganado, y asegurar así una mayor cantidad y calidad de árboles, se recomiendan los siguientes métodos de protección en las cercas vivas:

- Protección por medio de una cerca muerta paralela a la cerca viva
- Protección individual de las plantas (forma de triángulo)

Por asuntos prácticos y de costos, los productores han tenido mayor preferencia por la cerca muerta paralela eléctrica o con alambre de púas.

Cuadro 14. Costos estimados para el establecimiento de una cerca viva para producción de madera de *T. grandis* (US\$/km)

Material	Establecimiento de cerca nueva		Transformación a partir de cerca viva simple	
	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
Poste muerto (no.)	60	156,52	0	0
Alambre de púas (m)*	4000	333,98	0	0
Grapas (no.)	2810	28,74	0	0
Estacones (<i>G. sepium</i> y/o <i>B. simaruba</i> - no.)**	575	145,00	0	0
Plantas de <i>Tectona grandis</i> (no.)	550	239,13	550	239,13
Insecticida (kg)	1	10	1	10
Mano de obra para hoyado y sembrado (jornales) ***	30	735,65	14	343,30
Mano de obra para alambrado (jornales)	20	490,43	0	0
Total establecimiento		2139,46		570,70

*Un rollo equivale a 336 m. **En estacones incluye un 15% de replantes y en maderables un 10% de resiembras. Distancia de siembra entre estacones fue de 2,0 m. Los postes muertos y estacones incluyen los costos de aprovechamiento en finca. ***Un jornal equivale a 6 horas/día/hombre. Tasa de cambio US\$1= 575 colones costarricenses (junio 2017).

La protección por medio de una cerca muerta paralela a la cerca viva, también protege la regeneración natural que ocurre en ese sitio, lo cual significa que al aislar esa área se pueden seleccionar otras especies de importancia para la finca. El permitir y manejar la regeneración natural ocasiona que existan más de dos especies dando lugar a una cerca viva multiestrato. Este tipo de cerca con una mayor riqueza de especies y estructura, tiene mayores beneficios en términos de generación de servicios ecosistémicos y conservación de la biodiversidad tanto dentro como fuera de la finca. También, en conjunto con los árboles en potreros mejoran la conectividad estructural y funcional con los parches de bosques, lo cual mejora el movimiento, el refugio y alimento de la fauna silvestre. La armonización de estos elementos ayuda al desarrollo sostenible de paisajes agropecuarios.

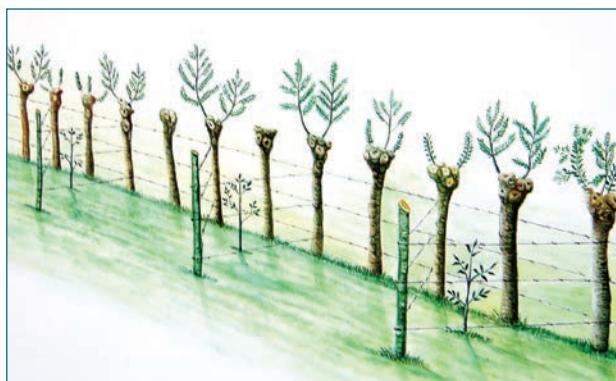
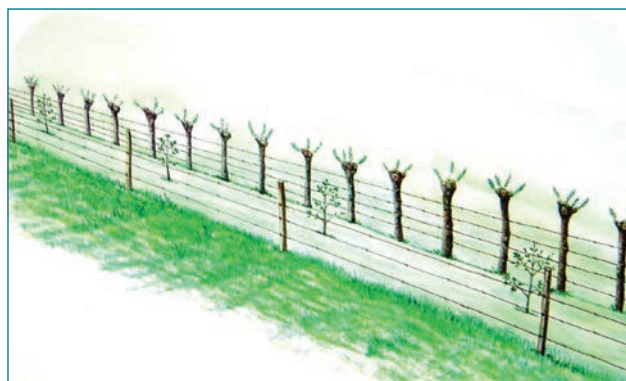
Con respecto a los métodos de protección de las plantas en cercas vivas, el individual es más costoso (12%) que el de la cerca muerta paralela (Cuadro 15).

Las prácticas de manejo de las cercas vivas son importantes para lograr maximizar sus funciones productivas y ecológicas en la finca. Entre las más frecuentes están la ronda cortafuegos (en sitios con incidencia de fuego), control de malezas, reparación, la poda y a veces raleo de árboles poco desarrollados o enfermos. El costo varía entre US\$175 (cerca viva simple) y US\$248/km/año (multiestrato) (Cuadro 16) En el caso de esta última se asume una siembra inicial de 500 plantas de *T. grandis* para producción de madera.

Cuadro 15. Costo de los diferentes métodos de protección de arbolitos en cercas vivas (US\$/km)

Material	Cerca muerta paralela		Protección individual	
	Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
Poste muerto (no.)	125	326,09	125	326,09
Alambre de púas (m)	2200	183,69	1680	140,27
Grapas (no.)	250	2,56	250	2,56
Mano de obra (jornales)*	14	343,30	20	490,43
Total		855,64		959,35

* Un jornal equivale a 6 horas/día/hombre. Tasa de cambio US\$1= 575 colones costarricenses (junio 2015)



Métodos de protección de plantas establecidas en cercas vivas.

Cuadro 16. Costo de manejo de cercas vivas simples y multiestratos (US\$/km/año)

Concepto	Unidad	Cerca viva simple		Cerca viva multiestrato	
		Cantidad	Costo	Cantidad	Costo
Podas postes vivos	Jornales*	6	147,12	6	147,12
Manejo de árboles	Jornales			3	73,56
Reparaciones de la cerca	Jornales	1	24,52	1	24,52
Alambre	m	34	2,84	34	2,84
Grapas	Numero	50	0,51	50	0,51
Costo de manejo			174,99		248,55

*Un jornal equivale a 6 horas/día/hombre. Tasa de cambio US\$1= 575 colones costarricenses (junio 2015).

5.7 Aporte de las cercas vivas en los ingresos de las fincas ganaderas

Las cercas vivas al igual que la muertas, constituyen espacios que en la mayoría de las fincas es subutilizado o genera más costos que beneficios, especialmente por las actividades de mantenimiento y en especial cuando se depende de la compra de postes muertos fuera de la finca. En ese sentido, las cercas vivas tienen potencial para la generación de diversidad de productos maderables y no maderables. Uno de los diseños de cercas vivas permite la producción de madera con especies de valor comercial que son una fuente de ingreso adicional aparte de la producción animal (carne y/o leche). En este sentido, el plan de finca debe de considerar el establecimiento anual de un segmento de cerca durante el ciclo de turno de la especie para desarrollar un modelo de producción sostenible de madera. Por ejemplo el productor José León Vargas, en Hojancha, Guanacaste, ha venido enriqueciendo con *T. grandis* 0,7 km de cerca viva/año en los últimos 10 años.

Para el establecimiento, manejo y aprovechamiento es importante seguir las recomendaciones de la legislación forestal de Costa Rica que se presenta en la sección “Legislación para el aprovechamiento de árboles en potreros y cercas vivas” de este manual.

Con base en lo anterior, se presenta un estudio de caso sobre la producción de carne en sistemas silvopastoriles con cercas vivas de maderables en el trópico húmedo de Costa Rica realizado por Detlefsen (2016). Este tuvo como objetivo evaluar el desempeño productivo y financiero de un sistema silvopastoril con cercas vivas enriquecido con especies maderables.



Cercas vivas con potencial para la producción de madera en la región Atlántica de Costa Rica.

5.7.1 Estudio de caso

Descripción de la zona del estudio

El estudio se realizó en el módulo de ganado de engorde de la finca comercial del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, ubicado a 9° 54' latitud Norte y 83° 41' longitud Oeste. El terreno se encuentra a una altitud aproximada de 600 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio de 22°C, humedad relativa de 90% y una precipitación media anual de 2636 mm. Los suelos son de origen aluvial, clasificados como Typic humitropepts, fino hallosyítico e isohipertérmico y son de textura franco-arcillosa (Aguirre 1971). Según la clasificación de Holdridge (1978), la finca se ubica en la zona de vida bosque muy húmedo premontano y se encuentra en el Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca. Este territorio cuenta con diferentes usos de suelo, entre ellos forestal (50%), ganadería (25%), café (8,5%), barbechos (6%), caña de azúcar (4%) y cacao (1%) (Cannet 2008).

Características del módulo de producción de carne

El módulo tiene un área de 84,85 ha y 60 potreros con un área promedio de 1,41 ha cada uno. El tamaño mínimo de potrero es de 0,39 ha y el mayor 4,32 ha. Los potreros se clasificaron según el manejo y el estado del pasto en buenos (37 ha), regulares (35 ha), malos (2,69 ha) y abandonados (10,07 ha). Estos últimos no están activos para la producción de carne por cobertura y problemas de drenaje. Las gramíneas encontradas son tanner (*Brachiaria arrecta*) y guinea africana (*Panicum máximum*). En la mayoría de los potreros se identificaron parches de gramalote (*Axonopus scoparius*), mezclado con guinea africana y maní forrajero (*Arachis pintoí*) y diferentes clases y géneros de malezas invasoras.

El módulo se ha dedicado al engorde de machos que ingresan de 350 kg de peso vivo y se venden en subastas o en mataderos de la región central con 500 kg. El número de machos es de 105 por ciclo de engorde de aproximadamente entre 7 y 10 meses; las ganancias de peso promedio varían entre 500 y 700 g/animal/día. La alimentación está basada en pasturas y suplementación de minerales a libre acceso en los potreros y el manejo sanitario consiste en una vacuna triple y control de parásitos internos y externos según la carga.

Las cercas vivas del módulo se clasificaron en tres estratos según su altura: pequeño (<5 m), mediano (5 a 10 m), grande (>10 m). El largo total de los segmentos o linderos levantados fue de 21,29 km. La distancia de los estratos fue 11,46, 6,72 y 2,91 km respectivamente y la cerca muerta de 0,19 km.

Los árboles en potreros son muy pocos y existe un predominio de cercas vivas simples con 1750 postes vivos/km con predominio de especies como *Erythrina fusca* (90,9%), *Thrichanthera gigantea* (5,78), *Zygia longifolia* (2,51) y *G. sepium* (0,08). La mayoría de cercas con *E. fusca* y *T. gigantea* son podadas anualmente. Es evidente que existe un potencial para la diversificación con especies maderables de valor comercial.

Desarrollo del modelo de producción de carne y madera en cercas vivas

El modelo contempla la producción de carne y de madera en cercas vivas para un periodo de 20 años, que es el ciclo la cosecha de madera de klinkii (*Araucaria hunsteini*). La producción de carne viene del engorde de machos durante en un periodo de 10 meses. En el período del proyecto se engordarían 105 machos al año uno, con un incremento gradual hasta llegar a 195 al año 20. Las razas de ganado predominante son Brahman, Nelore y algunos cruces de estas con razas europeas. El ganado es alimentado con base en pasto y recibe una suplementación mineral, la cual tiene a libre acceso en los potreros.

En los costos fue considerado el manejo de las pasturas o potreros, del ganado y de las cercas vivas. Del manejo de pasturas se registró información como gastos por control de malezas en forma manual y química, también se incluyó la mejora progresiva de las pasturas en el periodo de 20 años que incluye prácticas como renovación de algunos potreros y que contempla costos de preparación del terreno, compra de semilla y fertilización. Como parte de la innovación del sistema se espera implementar un periodo de ocupación no mayor de 2 días y aumentar la carga animal del sistema de 1,7 a 2,3 UA/ha durante el plazo del proyecto. Con estas condiciones de manejo se espera que la ganancia de peso no sea menor que 500 g/animal/día que ha sido la experiencia de la finca en varios años.

En el componente ganadero se recogió información de los costos de compra de machos en subastas, el transporte en la compra como en la venta del ganado, mano de obra para manejo, gastos en insumos como vacunas, desparasitantes internos y externos, sales minerales y productos veterinarios en general. De las cercas vivas se obtuvo información como mano de obra e insumos para mantenimiento como grapas, alambre de púas y postes (muertos o vivos), cosechados en la finca.

Se registró el peso vivo y precio del ganado al momento de la venta. La venta se realiza cuando los machos alcanzan un peso vivo entre 500-550 kg y se lleva a cabo en subastas de la zona o en mataderos de la región central del país.

Con respecto al componente maderable en las cercas vivas, fue seleccionada la especie *A. hunsteini*, la cual tiene un buen potencial para producción de madera, es de crecimiento rápido, tolera muy bien la competencia y su potencial volumétrico es considerable. De acuerdo a Barrantes y Ugalde (2017), el precio de la madera en pie o aserrada se ubica en un nivel intermedio y se emplea principalmente en ebanistería y pisos. La administración de la finca comercial tiene experiencia con esta especie, ya que la finca tiene plantaciones puras y mixtas con muy buen crecimiento. A partir de esto se puede suponer que la especie va a responder bien en cercas vivas.

El proyecto tiene contemplado establecer 15,3 km de cercas vivas, con una densidad de 333 árboles/km. No se planea realizar raleos pues la competencia se reduce al estar los maderables dispuestos linealmente. Se estima un turno de corta de 20 años y se asume una mortalidad del 10% durante el periodo. Además, se proyecta un crecimiento promedio anual de diámetro a la altura del pecho (dap) de 2,02 cm/año, que corresponde al valor encontrado en plantaciones puras de 14 años de edad dentro de la finca comercial del CATIE (Martínez 2014).

Indicadores productivos y financieros

En el caso del componente ganadero se espera una productividad de 255 a 345 kg/ha/año de peso vivo; hay que destacar que la producción de carne es casi a solo pasto.

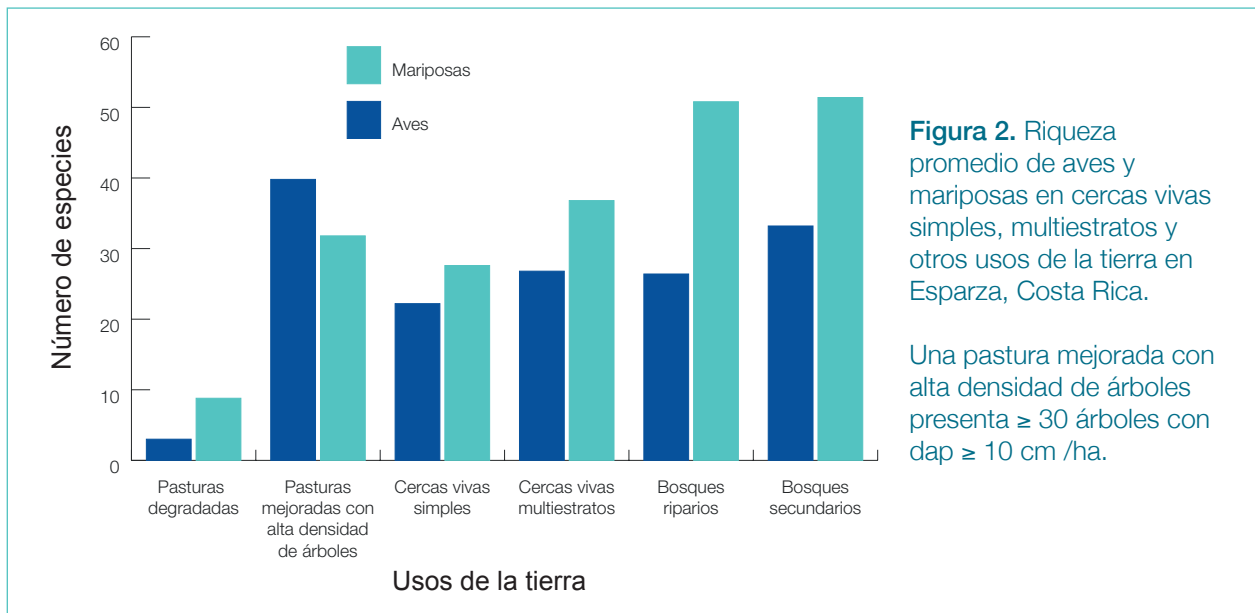
Con el incremento anual de crecimiento en la zona (2,02 cm/año de dap), y una altura proyectada de 25 m, se espera un volumen comercial de 1,64 m³ por individuo para un total de 492 m³/km.

Con estos elementos, la tasa interna de retorno fue del 26%, el cual es superior al costo de oportunidad del capital en caso de ser colocado en el sistema bancario nacional.

6. Contribución de los árboles en potreros y de las cercas vivas en la conservación de la biodiversidad

Una distribución uniforme, mayor estructura y diversidad de los árboles en potreros favorecen la abundancia y riqueza de la fauna silvestre, así como la conservación de la biodiversidad. Los árboles en potreros ofrecen condiciones a la fauna silvestre para el movimiento, refugio, descanso, anidamiento y recursos diversos para la alimentación. La función de los árboles en potreros se mejora según la presencia y estructura de otros elementos vecinos como cercas vivas, bosques y otros usos productivos arborizados.

Las cercas vivas cumplen funciones importantes en la conservación de la biodiversidad. Su potencial varía según la complejidad en composición, estructura y manejo de las podas y raleos. Algunos estudios como los de Sáenz *et ál.* (2007) y Tobar *et ál.* (2007), reportan que las cercas vivas multiestratos han mostrado



una mayor riqueza de aves y mariposas que las cercas vivas simples y pasturas degradadas; incluso, en aves han mostrado un comportamiento similar al de los bosques riparios y secundarios (Figura 2).

Las cercas vivas complejas en composición y estructura son un sistema deseable en los paisajes agropecuarios para conformar una red de interconexión (autopista biológica), entre los parches de bosques y los otros usos arbolados del paisaje, lo cual facilita la movilización de los organismos en determinados territorios. Al ampliar las cercas vivas se aumenta la densidad lineal, se reducen la distancia entre cercas y ocurre un mayor número de nodos y conexiones directas (Chacón y Harvey 2008). Sin embargo, es importante señalar que en un paisaje agropecuario la conservación de la biodiversidad dependerá de la cobertura y diversidad vegetal total en el agropaisaje, la cual se deriva de los mosaicos de usos de la tierra como bosques, cercas vivas y usos productivos arborizados (Enríquez *et ál.* 2007).


La diversidad de la fauna silvestre cumple funciones ecológicas y económicas a nivel de fincas como de territorio (paisaje productivo). A nivel ecológico se puede mencionar el aporte en la polinización de plantas silvestres o domesticadas, pregerminación y dispersión de semillas de varias especies. En la parte económica, una cobertura arbórea mayor y diversa contribuye con la producción de miel de la actividad apícola, dentro de otros productos. El potencial productivo dependerá de la abundancia y distribución espacial de las especies melíferas. Otra función económica de la fauna silvestre es el control de plagas en ganadería y cultivos agrícolas que puede significar reducción de costos por la menor frecuencia en la aplicación de productos químicos.

Los sistemas silvopastoriles biodiversos albergan una variedad de enemigos naturales (controladores biológicos), que actúan como depredadores o competidores. Los depredadores como las aves, ranas y sapos controlan eficientemente las poblaciones de moscas adultas; las aves hacen lo mismo con las garrapatas. El escarabajo estercolero compite con la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*), por espacio y recursos. Los escarabajos estercoleros, durante su proceso reproductivo, entierran en el suelo hasta una profundidad de 35 cm el estiércol que servirá como alimento para las larvas, evitando que las moscas se reproduzcan en la superficie. Una rápida degradación del estiércol por parte de los escarabajos contribuye con la sanidad de los potreros, aparte de mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Es importante el uso de buenas prácticas en el manejo de insecticidas y antiparásitos ya que los escarabajos son muy sensibles a la acción residual de dichos productos (Giraldo *et ál.* 2015).

Martínez (2016) en un estudio en el valle de Turrialba, encontró que los cafetales que tuvieron como elementos vecinos a las cercas vivas multi-estratos y parches de bosques presentaron una mayor abundancia y diversidad de aves y varias de ellas con hábitos de consumo de insectos. Esta condición podría favorecer una mayor presencia de enemigos naturales para la broca del café (*Hypotenemus ampei*) y por ende una menor prevalencia de esta plaga en el cultivo del café.

En el caso de Costa Rica, la biodiversidad en paisajes agropecuarios representa una fuente de ingresos para otras familias no ganaderas, debido a la actividad turística para el avistamiento de aves y de otras especies de la fauna silvestre¹⁰. Por lo tanto, se puede deducir que la cobertura arbórea de las fincas ganaderas (sistemas silvopastoriles y bosques), cumplen funciones ecológicas y socioeconómicas tanto dentro como fuera de la finca.

¹⁰ Este tema se debería investigar para cuantificar el impacto económico de los paisajes dominados por la ganadería.



7. Mantenimiento y monitoreo de los árboles en potreros y en cercas vivas

El mantenimiento de árboles en potreros y en cercas vivas es necesario para asegurar la permanencia y el mejor desempeño económico y ambiental de los sistemas silvopastoriles. Las prácticas comunes incluyen:

- Protección de plántulas
- Control de malezas
- Control de plagas
- Fertilización
- Raleos
- Podas
- Cosecha

Protección de plántulas

La protección a las plántulas de regeneración natural en los potreros asegura una alta supervivencia y calidad de aquellas seleccionadas. Es recomendable evitar o reducir el daño por el control de malezas y por el ganado (ramoneo y pisoteo), en los primeros dos o tres años. Esto se puede lograr por varios métodos: clausura temporal del pastoreo en el potrero y en su lugar usarla como área para pasto de corte o conservación (heno, silopaca o ensilaje); establecimiento de un cultivo agrícola, el cual parece tener viabilidad en procesos de recuperación de pasturas degradadas; protección individual con materiales de la finca como bambú o estacas de otras especies arbóreas que se amarran con alambre liso o de púas (se puede reutilizar aquel descartado en la finca). En este último método se pueden lograr mejores resultados con animales jóvenes ya que los adultos pueden derribar la protección cuando se pelean o se rascan.

Generalmente los productores mantienen activos los potreros y retienen algunos individuos de la regeneración natural a la hora de realizar las chapeas o aplicación de herbicidas. Sin embargo, la calidad de los árboles que crecen no es la mejor, ya que desde muy temprano (plántulas o brinzales), están expuestos a daños por el ganado como ramoneo y pisoteo, y a veces son dañados al momento de

las chapias. Esta situación tiene relación con la supervivencia y calidad de la mayoría de los árboles maderables que llegan a ser adultos. En las regiones Pacífico Central y Huetar Caribe costarricenses, un estudio desarrollado por Camargo *et ál.* (2000), evidenció que el control de malezas manual¹¹ y el ramoneo por ganado ocasionó el mayor daño (corte de tallo), a las plántulas, brinzales y latizales de regeneración natural en potreros activos.

En el caso de las cercas vivas, donde la mayoría de los individuos son plantados, la protección puede ser individual o por medio de una cerca paralela a la cerca viva. Esta segunda opción permite proteger plántulas de la regeneración natural y aumentar la diversidad de especies. Más información sobre la protección de plántulas se encuentra en la sección de “Establecimiento y manejo de árboles en cercas vivas”, de este manual.

Control de malezas

Consiste en cortar las malezas en un círculo de medio metro alrededor de cada árbol para evitar la competencia por agua, luz y nutrientes, y permitir así un crecimiento mayor. En el caso de cercas vivas, se realiza una limpieza en toda la franja para ayudar al crecimiento de las plantas.

Control de plagas

Como se ha mencionado anteriormente, en las cercas vivas la mayoría de plantas son establecidas y, generalmente, son objeto de herbivoría por parte de la hormiga zompopa (*Atta spp.*). De no existir un plan de control oportuno, el porcentaje de resiembra tiende a incrementarse, se afecta el crecimiento y, en casos extremos, se pueden perder por mortalidad casi todas las plantas.

Durante la planificación del establecimiento de los arbolitos, especialmente en las cercas vivas, es importante realizar un reconocimiento del sitio y de las áreas vecinas para identificar los nidos de zompopas. También se puede consultar a las personas del lugar sobre los antecedentes de plagas en plantaciones forestales. Con base en la situación encontrada se diseña un programa de monitoreo y control de plagas que deberá iniciarse antes del establecimiento de los arbolitos. En el control de plagas, especialmente zompopas, se recomienda alternar el ingrediente activo para reducir la probabilidad de desarrollo de resistencia de la plaga.

Fertilización

En árboles manejados en potreros de regeneración natural o en aquellos plantados en cercas vivas, es necesaria la fertilización para mejorar la supervivencia y el desarrollo adecuado de la planta debido al crecimiento de raíces, resistencia, salud y calidad de los productos finales. Acelerar el crecimiento inicial de los árboles reducirá el riesgo de daño por el ganado (ramoneo y/o pisoteo), aumenta la resistencia a las plagas y enfermedades (especialmente los arbolitos plantados en cercas vivas), y serán más visibles para los operarios que realizan el control de malezas en forma manual o química.

Como normalmente no existe un plan de fertilización para árboles procedentes de la regeneración natural en potreros y para aquellos plantados en cercas vivas, la fertilización puede orientarse hacia el nutriente deficitario encontrado en el diagnóstico de suelos, el cual puede ser el factor limitante en el crecimiento de

¹¹ Es importante capacitar y sensibilizar a las personas que apoyan con las labores de campo sobre la importancia del manejo de la regeneración natural en potreros.

las plantas. Por lo tanto, existen ocasiones en las que se puede fertilizar una plantación según la demanda desde el suelo (Donoso y Soto 2010). En las fincas ganaderas aparte de los fertilizantes químicos, se cuenta con fertilizante a partir del estiércol procesado.

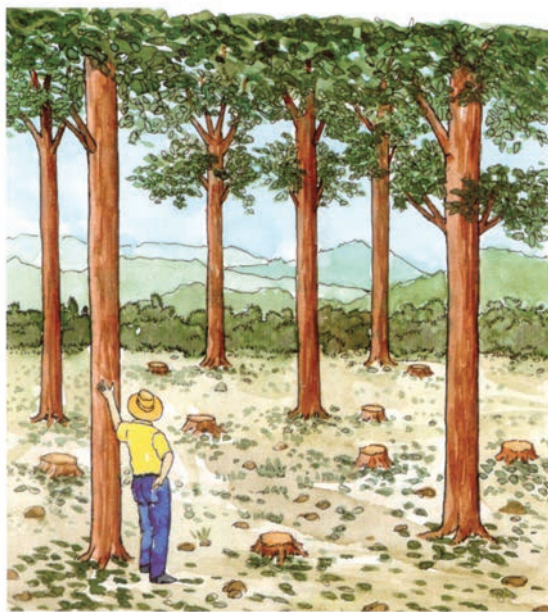
Antes de realizar la fertilización, es importante la limpieza alrededor de los arbolitos y asegurar la protección contra el ramoneo del ganado y prácticas de manejo de las pasturas (control de malezas). Caso contrario, el efecto del fertilizante será mínimo o nulo.

Los fertilizantes pueden ser aplicados en hoyos, en bandas o en círculo alrededor de la planta distanciados a 15 cm de la planta y enterrados a 10 cm de profundidad. Si no se entierra, el fertilizante se desnaturaliza cuando está a la intemperie (Martínez 2013).

Raleo

Consiste en cortar aquellos árboles enfermos, dañados o dominados. De esta manera se mejora la disponibilidad de luz, agua y nutrientes, para que los árboles que van quedando, crezcan en mejores condiciones. Se realiza cuando la densidad de los árboles es muy alta (están muy tupidos), o cuando se inicia el traslape de copas.

Según el objetivo de los productos a obtener, se identifican raleos a desecho y productivos o comerciales. Los primeros permiten la corta de árboles delgados y jóvenes sin posibilidad de obtención de productos madereros, porque en su momento no tienen valor o por su bajo volumen/ha. Eventualmente puede obtenerse productos para la producción de energía o bien para ser incorporados al suelo. Los segundos permiten la corta de árboles de mayores dimensiones y que permiten cosechar un volumen suficiente para su comercialización (Barrance *et ál.* 2003; Martínez 2013).



Práctica de raleo en árboles en potreros de fincas ganaderas.

Poda

Consiste en cortar las ramas bajas de los árboles para mejorar la forma del tronco y producir madera de mejor calidad (madera libre de nudos). En especies de árboles frutales o para otros fines, esta práctica contribuye a regular la altura de la copa para facilitar la cosecha del producto, inducir cambios fisiológicos en la planta, eliminar partes enfermas y a mejorar la entrada de luz al pasto. La poda se realiza preferiblemente al final de la época seca para evitar la entrada de hongos en los cortes. En el caso de especies maderables con valor comercial, la poda se realiza a ras del tronco para reducir problemas de nudos que pueden afectar negativamente la calidad de la madera.



Práctica de poda en árboles en potreros de fincas ganaderas.

Cosecha

La cosecha forestal dentro de las actividades silviculturales es una de las de mayor impacto sobre el suelo y agua; incluye todas las acciones dirigidas al volteo de árboles en pie y su preparación para el maderero. El proceso de planificación debe considerar desde la operación de corta, desramado y trozado (corte) del tronco en trozas, el descortezado cuando proceda, la cubicación de las trozas y el trazado de vías de saca y el transporte eficiente de los productos obtenidos de los árboles cosechados (Martínez 2013).

Al mismo tiempo se necesita monitorear el desempeño de los sistemas silvopastoriles. Esta acción permite analizar el efecto de los factores externos en el logro de los objetivos de producción y conservación y las medidas para poder ajustar oportunamente el plan de manejo del sistema en caso de que sea necesario. El monitoreo de desempeño, por ejemplo, permite conocer las situaciones siguientes:

- los árboles empiezan a competir con los pastos por espacio, luz solar y nutrientes
- se producen cambios en los mercados (para los productos de árboles y cultivos y/o ganado)
- cambios en las necesidades o disponibilidad de mano de obra que afectarán al sistema.

8. Legislación para el aprovechamiento de árboles en potreros y cercas vivas

En Costa Rica se han establecido varias leyes y reglamentos asociados con el aprovechamiento maderable. Una de las primeras fue la Ley Forestal No. 4475 promulgada en 1969; posteriormente se promulgó la Ley Forestal No. 7032 del año 1986, la cual se modificó en 1990 y pasó a llamarse Ley Forestal No. 7174. Esta establece un impuesto sobre el valor de la madera en pie y el certificado de abono forestal como incentivo directo para la reforestación. La Ley 7174 es seguida en 1995 por la Ley Ambiental. Posteriormente, en 1996 se aprobó la Ley Forestal 7575 que establece varios órganos rectores del recurso forestal como el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), dentro del cual se encuentra la Dirección General Forestal que fue fusionada con la Dirección de Vida Silvestre, y el Servicio de Parques Nacionales, para formar el ente que actualmente es llamado Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). Así, se pueden citar cuatro normativas principales que administran el aprovechamiento maderable costarricense, las cuales son: i) la Constitución Política de Costa Rica; ii) la Ley Forestal 7575; iii) el Reglamento de la Ley Forestal Decreto No. 25721-MINAE; y iv) la Ley Orgánica del Ambiente 7554. Adicionalmente, también se desarrolló el reglamento para regentes forestales mediante el Decreto No. 26870-MINAE. En 1998 se estableció mediante el Decreto 26748-MINAE, el sistema de placas para el aprovechamiento de productos forestales y en el 2000, mediante el Decreto No. 29084 se crea la Comisión Agroforestal Nacional (Scheelje 2009; Rivera 2014).

La Ley Forestal aprobada en 1996 es la que rige la actividad forestal costarricense actualmente; aunque esta ley y su reglamento han sufrido cambios en algunos de sus artículos y se han creado decretos que clarifican algunas de las actividades, vacíos o inconsistencias (Scheelje 2009). Esta ley tiene diferentes modalidades de permisos forestales que permiten el aprovechamiento maderable (Lozano-Valverde 2011):

1. Inventario forestal (IF): “Remanentes de árboles en lo que una vez fueron parte de un bosque”. Es aquella solicitud para aprovechamiento de árboles en terrenos de uso agropecuario y sin bosque que no excedan los 3 árboles por hectárea y que superan los 10 árboles por inmueble por año, para lo que se requiere una autorización de la AFE¹² a través de las oficinas subregionales del área de conservación y que entre otros requisitos solicitan un inventario forestal realizado por un regente (PUA-IF).

¹² Administración Forestal del Estado

2. Madera caída (MC): “Consta de árboles que han sido afectados por las inclemencias del tiempo, por falseamiento debido al daño en sus raíces, o ambos”.
3. Plantación forestal (PF): “Son grandes extensiones plantadas de árboles, los cuales se extraerán en un momento dado habiendo llegado a una edad o dimensión comercial”.
4. Permiso pequeño (PP): “Son permisos de aprovechamiento que constan de 10 árboles o menos por año por propietario solicitante”. Estos permisos se dividen en¹³: a) solicitud para aprovechamiento de árboles en terrenos de uso agropecuario y sin bosque, que no excedan los tres árboles/ha, con un límite de 10 árboles por inmueble por año (*PUA-Pp-01*) y, b) solicitudes para aprovechar como máximo 5 árboles/año en terrenos de propiedad privada en donde existen áreas con presencia de árboles maderables que constituyen una cobertura boscosa que no es bosque (según definición citada en la Ley Forestal), por ser áreas menores a las dos hectáreas, ni forman parte de un continuo de bosque cuya distancia entre el área de estudio y otras coberturas boscosas superan los 100 metros lineales de conformidad con la visita de campo y de acuerdo con el Mapa de Cobertura Boscosa de Costa Rica para el año 2000 (*PUA-Pp-02*).
5. Sistema agroforestal (SAF): “Son árboles plantados o por lo menos regenerados con motivos comerciales y que forman parte de una propiedad con fines agrícolas en los que se pueden encontrar potreros y/o explotaciones agrícolas”.

En general se ha detectado que la mayoría de las políticas forestales, los reglamentos y las normas asociadas representan problemas para los pequeños y grandes productores agropecuarios que ven disminuida su capacidad de extracción maderable debido a las limitantes que existen para la actividad; tales como la exigencia de un plan de manejo forestal, sin el cual es imposible la corta de pequeñas cantidades de árboles de terrenos agropecuarios (árboles dispersos o de áreas agrícolas), para fines comerciales (Detlefsen *et ál.* 2008; Rosa *et ál.* 2010).

Los planes de manejo forestal para la extracción de árboles de terrenos agropecuarios son considerados un gasto alto e innecesario, principalmente por parte de los pequeños productores, debido a que la cantidad de madera que se puede llegar a extraer de sus terrenos no alcanza para pagar los servicios de regentes ni técnicos forestales que elaboran dichos planes de manejo. Todo esto conlleva a comercializar la madera de forma ilegal, a precios sumamente bajos con respecto a la inversión y a evitar reponer las plantas para próximas extracciones (Detlefsen *et ál.* 2008).

De acuerdo con Marín *et ál.* (2006) y Detlefsen *et ál.* (2008), es necesario revisar la importancia que se le da a la madera de sistemas agroforestales y silvopastoriles como fuentes maderables alternativas a las plantaciones forestales, debido a que solamente se han visto como un componente más del sistema y no con la prioridad que merecen. La simplificación (disminución de costos, trámites y tiempos para extracción), del aprovechamiento maderable en estos sistemas productivos aumentaría la rentabilidad económica de las actividades agropecuarias, al mismo tiempo que se incrementaría el componente arbóreo de las fincas, lo que puede mejorar las condiciones del productor, del terreno, de los animales y de otros servicios ecosistémicos asociados (Chavarría *et ál.* 2011).

13 Definición de acuerdo con lo establecido en el Manual R-SINAC-028: Manual de procedimientos para el aprovechamiento maderable en terrenos de uso agropecuario y sin bosque y situaciones especiales en Costa Rica publicado en La Gaceta No. 163 del lunes 23 de agosto 2010.

Sin embargo, la ley forestal costarricense presenta algunas inconsistencias con respecto al aprovechamiento maderable en sistemas agropecuarios. Una de ellas es mencionada por MINAE y SINAC (2005), e indica que la actual ley forestal deja abierto el aprovechamiento forestal en áreas que no presentan cobertura boscosa, algo que no es del todo cierto debido a que se requiere el respectivo permiso de aprovechamiento. Por otra parte, menciona que uno de los objetivos de esta ley es disminuir las prohibiciones para la extracción en áreas sin bosque y no establece como infracción la corta de árboles en terrenos de uso agropecuario (MINAE y SINAC 2005).

La legislación y sus cambios modifican la dinámica del aprovechamiento maderable y los usos de suelo predominantes: bosques, plantaciones o sistemas agroforestales. A pesar de las modificaciones en la Ley Forestal, continúan los problemas para pequeños y medianos productores que ven limitada la extracción, aprovechamiento y comercialización maderable. Lo anterior se ha asociado a trámites lentos, complicados y costosos (aún para extraer bajos volúmenes de madera), que podrían conllevar a la comercialización ilegal y a evitar incluir el componente arbóreo en las fincas agropecuarias. En el 2015 el CATIE, por medio del proyecto Finnfor II¹⁴ inició un plan piloto de incidencia política en la península de Nicoya para identificar las inconsistencias y contradicciones de la ley forestal costarricense no. 7575 y de sus reglamentos que requerirían una modificación, con el propósito de promover procesos simplificados para el manejo y aprovechamiento de madera en sistemas agroforestales. Se espera que de implementarse los cambios propuestos, las familias productoras se motiven para mantener e incrementar el componente arbóreo en las fincas como un elemento que diversifique y aumente sus ingresos.

14 Proyecto Bosques y Manejo Forestal en América Central

9. Consideraciones finales

Los sistemas silvopastoriles como los árboles en potreros (dispersos o en grupo) y las cercas vivas constituyen herramientas para la adaptación y mitigación al cambio climático de los sistemas ganaderos. En la parte de la adaptación ofrecen recursos alimenticios (follajes y/o frutos), para la alimentación animal en la época seca cuando los pastos reducen su disponibilidad y calidad de la materia seca comestible. En zonas con altas temperaturas, la sombra de los árboles mitiga el estrés calórico del ganado lo que contribuye con un incremento en la producción de leche y/o carne. Con respecto a la mitigación al cambio climático, tienen un potencial para la captura y almacenamiento del carbono a nivel de la cobertura arbórea y del suelo.

Los árboles en potreros y cercas vivas generan una serie de productos maderables y no maderables adicionales a la producción ganadera (leche y/o carne), que permiten aumentar y diversificar los ingresos de las familias rurales. Asimismo, contribuyen con otros beneficios tales como conservación y restauración de suelos, mejoran la infiltración y reducen la escorrentía de agua con efectos positivos en la recarga y sustento de mantos acuíferos.

En Costa Rica es necesaria la revisión de la legislación forestal para simplificar los procesos de manejo y aprovechamiento de productos maderables y motivar a las familias productoras para el mantenimiento y/o incremento de la cobertura arbórea en sistemas ganaderos. A la fecha existen avances en la región de Hojancha que se podrían tomar como punto de partida y expandirlos a nivel nacional.

10. Referencias

- Acosta, A; Valdés, A. 2014. Situación y perspectiva del sector ganadero en Centroamérica. In Acosta, A; Díaz, T (eds.). Lineamientos de política para el desarrollo sostenible del sector ganadero. Roma, Italia, FAO. p. 3-22.
- Amézquita, MC; Amézquita, E, Casasola, F; Ramírez, BL; Giraldo, H; Gómez, ME; Llanderal, T; Velásquez, J; Ibrahim, M. 2008. Carbon stocks and sequestration. In Mannelje, L; Amézquita, MC; Buurman, P. Ibrahim, M (eds.). Carbon sequestration in tropical grassland ecosystems. Wagenigen Academic Publisher. NL. p. 49-68.
- Barrance, A; Beer, J; Boshier, DH; Chamberlain, D; Cordero, J; Dettlefsen, G; Finegan, B; Galloway, G; Gómez, M; Gordon, J; Hands, M; Hellin, J; Hughes, C; Ibrahim, M; Kass, D; Leakey, R; Mesén, F; Montero, M; Rivas, C; Somarriba, E; Stewart, J; Pennington. 2003. In Cordero, J; Boshier, DH (eds.). Árboles de Centroamérica. s. l., OFI/CATIE. 1079 p.
- Barrantes, A; Ugalde, S. 2017. Precios de la madera para las especies mas comercializadas. San José, Costa Rica, Oficina Nacional Forestal. 10 p.
- Budowsky, G. 1987. Living Fences en Tropical America, a Widespread Agroforestry Practice. In Gholz, HI (ed.). Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials. Martinus Nijhoff publishers. p. 169-178.
- Camargo, JC; Ibrahim, M; Somarriba, E; Finegan, B; Current, D. 2000. Factores ecológicos, socioeconómicos que influyen en la regeneración natural del laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y sub húmedo de Costa Rica. Agroforestería en las Américas 7(20):46-49
- Camero, A; Ibrahim, M; Kass, M. 2001. Improving Rumen Fermentation and Milk Production with Legume-Tree Fodder in the Tropics. Agroforestry Systems 51:157-166.
- Cárdenas, A; Reyes, B; Ríos, N; Woo, A; Ramírez, E; Ibrahim, M. 2007. Impacto de los Sistemas Silvopastoriles en la calidad del agua en microcuencas ganaderas de Matiguás, Nicaragua. Encuentros 77:70-77.
- Casasola, F; Ibrahim, M; Barrantes, J. 2003. Los árboles en potreros. Managua, Nicaragua, CATIE. 20 p. (Cuaderno de campo).
- Chacón, AR; Jiménez, VG; Montenegro, BJ; Sasa, MJ; Blanco, SK. 2014. Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono. San José, Costa Rica, Minae-(IMN). 64 p.
- Chacón, M; Harvey, CA. 2008. Contribuciones de las cercas vivas a la estructura y la conectividad de un paisaje fragmentado en Río Frío, Costa Rica. In Harvey, C; Sáenz, JC (eds.). Evaluación y Conservación de Biodiversidad en Agropaisajes de Mesoamérica. . Heredia, Costa Rica, INBio. p. 225-250.
- Chacón, M., Harvey, C.A, Delgado, D. 2008. Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente 51-52:19-32.
- Chacón, M., Harvey, C.A. 2013. Reservas de Biomasa de Árboles Dispersos en Potreros y Mitigación al Cambio Climático. Agronomía Mesoamericana 24(1):17-26. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n01_017.pdf

- Chavarría, A; Detlefsen, G; Ibrahim, M; Galloway, G.; Camino, R.d. 2011. Análisis de la productividad y la contribución financiera del componente arbóreo en pequeñas y medianas fincas ganaderas de la subcuenca del río Copán, Honduras. *Agroforestería en las Américas*. (48):146-156.
- Detlefsen, G.; Pomareda, C.; Ibrahim, M.; Pezo, D. 2008. La legislación forestal debe ser revisada para fomentar y aprovechar el recurso maderable en fincas ganaderas de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Síntesis para decisores/Policy Brief 1).
- Detlefsen, G.; Scheelje, M. 2012. Las normativas legales y el aprovechamiento de la madera en fincas. In Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 211-244. (Serie técnica-Manual técnico no. 109).
- Donoso PJ; Soto, DP. 2010. Plantaciones con especies nativas en el centro-sur de Chile: experiencias, desafíos y oportunidades. *Bosque Nativo* 47:10-17.
- Enríquez, ML; Sáenz, J; Ibrahim, M. 2007. Riqueza, abundancia y diversidad de aves y su relación con la cobertura arbórea en un agropaisaje dominado por la ganadería en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:49-57.
- Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome, Italy, FAO. 115 p.
- Giraldo, C; Reyes, LK; Molina, J. 2011. Manejo integrado de artrópodos y parásitos en sistemas silvopastoriles intensivos. Manual 2. Bogotá, Colombia, GEF, Banco Mundial, Fedegan, Cipav, Fondo Acion, TNC. 51 p.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Villacís, J; Chacón, M; Muñoz, M; López, M; Ibrahim, M; Taylor, R; Martínez, JL; Navas, A; Sáenz, J; Sánchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernández, B; Pérez, A; Ruiz, F; López, F; Lang, I; Kunth, S; Sinclair, FL. 2005. Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 111:200-230.
- Harvey, C; Villanueva, C; Esquivel, H; Gómez, R; Ibrahim, M; Martínez, J; Muñoz, D; Restrepo, C; Villacís, J; Sáenz, J; Sinclair, F. 2011. Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management* 261(10):1664-1674.
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en suelo y biomasa arbórea de sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Summary for Policymakers (en línea). In Stocker, TF; Qin, D; Plattner, GK; Tignor, M; Allen, SK; Boschung, J; Nauels, A; Xia, Y; Bex, V; Midgley, PM (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, United States of America, Cambridge University Press. Consultado 20 jun. 2017. Disponible en http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
- Lozano, R; Asprón, M; Vasquez, C; González, E; Aréchiga, C. 2010. Efecto del estrés calórico sobre la producción embrionaria en vacas superovuladas y la tasa de gestación en receptoras. *Rev Mex Cienc Pecu* 1(3):189-203
- Lozano-Valverde, G. 2011. Barreras y oportunidades para la comercialización de madera nativa legal procedente de sistemas silvopastoriles en la región de Hojancha y zona baja de Nandayure, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 121 p.
- Marín, Y; Detlefsen, G; Aguilar, A; Ramírez, M. 2006. Implicaciones de la política y legislación forestal nicaragüense para el aprovechamiento forestal en fincas ganaderas. Managua, Nicaragua, CATIE. 24 p.
- Martínez Albán, V. 2014. Crecimiento y fijación potencial de carbono en plantaciones forestales mixtas de *Araucaria hunsteinii* en la zona Atlántica, Costa Rica. Tesis Lic. Cartago, Costa Rica, ITCR. 24 p.
- Martínez, A. 2016. Contribution of agricultural land uses to bird conservation: A case study of ecosystem service provisioning. Ph.D Thesis. Idaho, United States of America, University of Idaho. 158 p.
- Martínez, B. 2013. Guía básica de buenas prácticas para plantaciones forestales de pequeños y medianos propietarios. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura. 91 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 2015. NAMA Ganadería Costa Rica. San José, Costa Rica. 27 p.

- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica); Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Costa Rica). 2005. Mitos y realidades de la deforestación en Costa Rica. s. l. 14 p.
- Mora, V. 2001. Fijación, emisión y balance de gases de efecto invernadero en pasturas en monocultivo y en sistemas silvopastoriles de fincas lecheras intensivas de las zonas altas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.
- Muñoz, D. 2004. Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 206 p.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, C; Casasola, F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas. Cali, Colombia, Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. 97 p.
- Piñuela, A; Guerra, A; Pérez-Sánchez, E. 2013. Guía para el establecimiento y manejo de viveros agroforestales. San Javier-Yaracuy, Venezuela, Fundación Danac. 38 p.
- Ríos, N; Cárdenas, A; Andradre, H; Ibrahim, M; Jiménez, F; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2007. Estimación de la escorrentía superficial e infiltración en sistemas de ganadería convencional y en sistemas silvopastoriles en el trópico sub-húmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71.
- Rivera Céspedes, M. 2015. Análisis de la producción maderable de teca (*Tectona grandis* Linn. F.) en plantaciones y sistemas agroforestales en Hojancha, Costa Rica, y bases para el desarrollo de un plan de incidencia política para promover su cultivo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 127 p.
- Romero, F; Montenegro, J; Chana, C; Pezo, D; Borel, R. 1993. Cercas vivas y bancos de proteína de *Erythrina berteroana* manejados para la producción de biomasa comestible en el trópico húmedo de Costa Rica. In Westley, SB; Powell, MH (eds.). *Erythrina in the New and Old Worlds*. Hawaii, United States of America, NFTA. p. 205-210.
- Rosa, A; Detlefsen, G; Ibrahim, M; de Camino, R; Galloway, G. 2010. Aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Belice. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60:91-98.
- Sáenz, JC; Villatoro, F; Ibrahim, M; Fajardo, D; Pérez, M. 2007. Relación entre las comunidades de aves y la vegetación en agropaisajes dominados por la ganadería en Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *Agroforestería en las Américas* 45:37-48.
- Scheelje, M. 2009. Incidencia de la legislación sobre el aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 157 p.
- Tobar, D; Ibrahim, M; Casasola, F. 2007. Diversidad de mariposas en un paisaje agropecuario del Pacífico Central de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:58-65.
- Villanueva, C. 2001. Ganadería y beneficios de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del río Virilla, San José, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 106 p.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Casasola, F. 2008. Valor económico y ecológico de las cercas vivas en fincas y paisajes ganaderos. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 36 p.
- Villanueva, C; Argeñal, P; Ibrahim, M; Casasola, F. 2016. Contribución de las cercas vivas en el control del estrés calórico en sistemas intensivos de producción de leche en trópico de bajura. *Horizonte Lechero* 3:14-21.

Anexo 1. Lista de especies

Nombre científico	Nombre común
<i>Acosmium panamensis</i>	Carboncillo
<i>Acrocomia aculeata</i>	Coyol
<i>Albizia guachepele</i>	Guayaquil
<i>Anacardium occidentale</i>	Marañón
<i>Andira inermis</i>	Almendo de monte
<i>Araucaria hunsteinii</i>	Klinkii
<i>Bactris gasipaes</i>	Pejibaye
<i>Billia columbiana</i>	
<i>Bursera simaruba</i>	Jiñocuabe
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro
<i>Citrus sinensis</i>	Naranja
<i>Citrus spp.</i>	Naranja, limón agrio, mandarina
<i>Cocos nucifera</i>	Cocotero
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel
<i>Cratylia argéntea</i>	Cratylia
<i>Diphysa americana</i>	Guachipelín
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste
<i>Erythrina berteroa</i>	Poró
<i>Erythrina costaricensis</i>	Poró
<i>Erythrina fusca</i>	Poró
<i>Ficus spp.</i>	Higuerón
<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo
<i>Jatropha curcans</i>	Piñón
<i>Mangifera indica</i>	Mango

<i>Myrospermum frutescens</i>	Palo de arco
<i>Pachira quinata</i>	Pochote
<i>Pentacletra maculosa</i>	Gavilán
<i>Persea americana</i>	Aguacate
<i>Piscidia carthagenensis</i>	Pellejo de toro
<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
<i>Samanea saman</i>	Cenízaro
<i>Sambucus mexicanus</i>	Sauco
<i>Spondias</i> spp.	Jocote
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba
<i>Tabebuia ochracea</i>	Cortez amarillo
<i>Tabebuia rosea</i>	Roble de sabana
<i>Tectona grandis</i>	Teca
<i>Trichantera gigantea</i>	Nacedero
<i>Yucca elephantipes</i>	Itabo
<i>Zanthoxylum kellermanii</i>	Lagarto o lagartillo
<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo

Lista de gramíneas

Nombre científico	Nombre común
<i>Axonopus scoparius</i>	Pasto imperial
<i>Brachiaria arrecta</i>	Tanner
<i>Brachiaria brizantha</i>	Brachiaria
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	Estrella
<i>Panicum maximum cv mombasa</i>	Guinea
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyu

Lista de insectos parásitos o plaga

Nombre científico	Nombre común
<i>Atta</i> spp.	Hormiga o zompopa
<i>Haematobia irritans</i>	Mosca de los cuernos
<i>Hypotenemus ampei</i>	Broca del café

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 y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



ISBN: 978-9977-57-682-4

