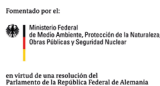




Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico

Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable?



CIAT

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) —un Centro de Investigación de CGIAR— desarrolla tecnologías, métodos innovadores y nuevos conocimientos que contribuyen a que los agricultores, en especial los de escasos recursos, logren una agricultura eco-eficiente —es decir, competitiva y rentable así como sostenible y resiliente. Con su sede principal cerca de Cali, Colombia, el CIAT realiza investigación orientada al desarrollo en las regiones tropicales de América Latina, África y Asia.

www.ciat.cgiar.org

CGIAR es una alianza mundial de investigación para un futuro sin hambre. Su labor científica la llevan a cabo 15 Centros de Investigación en estrecha colaboración con cientos de organizaciones socias en todo el planeta.

www.cgiar.org

Visión Amazonía

Es una iniciativa del Gobierno de Colombia que busca reducir a cero la deforestación en la Amazonía colombiana para el año 2020, así como promover un nuevo modelo de desarrollo en la región que permita mejorar las condiciones de vida de las poblaciones locales a la vez que mantiene la base natural que sostiene la inmensa biodiversidad de la región y que sustenta la productividad de la región.

<http://bit.ly/2tnFv7R>

ISBN: 978-958-694-171-6
E-ISBN: 978-958-694-172-3

Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico

Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable?

Mauricio Sotelo
Juan Carlos Suárez Salazar
Faver Álvarez Carrillo
Augusto Castro Núñez
Víctor Hugo Calderón Soto
Jacobó Arango



Fomentado por el
Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear
en virtud de una resolución del
Parlamento de la República Federal de Alemania



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE CGIAR EN
Cambio Climático,
Agricultura y
Seguridad Alimentaria



Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Sede Principal y Oficina Regional para Suramérica y el Caribe
Km 17 Recta Cali-Palmira. C.P. 763537
A.A. 6713, Cali, Colombia
Teléfono: +57 4450000
Correo electrónico: m.sotelo@cgiar.org
Página web: www.ciat.cgiar.org

Publicación CIAT No. 448
Tiraje: 100 ejemplares
Octubre 2017

Sotelo M; Suárez Salazar JC; Álvarez Carrillo F; Castro Núñez A; Calderón Soto VH; Arango J. 2017. Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico - Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable? Publicación CIAT No. 448. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 24 p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10568/89088>

ISBN: 978-958-694-171-6
E-ISBN: 978-958-694-172-3

Mauricio Sotelo, evaluación agronómica de germoplasma y sistemas silvopastoriles, Programa de Forrajes Tropicales, Área de Investigación en Agrobiodiversidad, CIAT.

Juan Carlos Suárez Salazar, Programa de Ingeniería Agroecológica/Servicios Ecosistémicos en Arreglos Agroforestales, Universidad de la Amazonia (UNIAMAZ).

Faver Álvarez Carrillo, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia/Ganadería Sostenible, Docente UNIAMAZ.

Augusto Castro Núñez, Vinculación de Productores a Mercados, Área de Investigación en Análisis de Políticas (DAPA), CIAT.

Víctor Hugo Calderón Soto, Programa de Maestría en Agroforestería/Valoración Económica de Servicios Ecosistémicos, UNIAMAZ.

Jacobo Arango, científico principal, Programa de Forrajes Tropicales, Área de Investigación en Agrobiodiversidad, CIAT.

Este documento hace parte de una serie de volúmenes estratégicos desarrollados en el marco de la iniciativa Visión Amazonía del Gobierno de Colombia, con el apoyo del Fondo de Patrimonio Natural, el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Universidad de la Amazonia (UNIAMAZ), el Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (FINAGRO), el Programa de Investigación de CGIAR en Ganadería y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); y financiación del Gobierno de la República Federal Alemana, el Ministerio de Clima y Ambiente de Noruega y el Departamento del Reino Unido para el Desarrollo Internacional (DFID).

Créditos fotos: CIAT.

Derechos de autor © CIAT 2017. Todos los derechos reservados.

El CIAT propicia la amplia disseminación de sus publicaciones impresas y electrónicas para que el público obtenga de ellas el máximo beneficio. Por tanto, en la mayoría de los casos, los colegas que trabajan en investigación y desarrollo no deben sentirse limitados en el uso de los materiales del CIAT para fines no comerciales. Sin embargo, el Centro prohíbe la modificación de estos materiales y espera recibir los créditos merecidos por ellos. Aunque el CIAT elabora sus publicaciones con sumo cuidado, no garantiza que sean exactas ni que contengan toda la información.



Agradecimientos

Este estudio fue realizado dentro del marco del Proyecto Visión Amazonía, en el pilar Agroambiental.

Agradecimientos especiales al proyecto *LivestockPlus*, el cual hace parte del Programa de Investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS), asociación estratégica de CGIAR y Future Earth. Así mismo reconocemos el valioso aporte del Programa de Investigación de CGIAR en Ganadería.

Agradecimientos al proyecto “Paisajes Sostenibles para la Amazonía”, liderado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Este proyecto hace parte de la Iniciativa Internacional de Protección al Clima (IKI) por encargo del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de Alemania (BMUB). En Colombia, es implementado de forma conjunta con la Universidad de la Amazonia con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Sinceras gracias a todos los donantes que a nivel global financian el trabajo del Programa a través de sus contribuciones al Sistema CGIAR y a la iniciativa Visión Amazonía.



Prólogo

Reconociendo que la ganadería no debería existir en el ecosistema amazónico por sus características de suelo, agua, biodiversidad de fauna y flora, los autores consideramos que una propuesta viable, considerando las grandes extensiones dedicadas a la ganadería ineficiente presentes en la región, son los sistemas silvopastoriles. Estos sistemas permiten realizar una ganadería sostenible en las zonas ya intervenidas lejos de los frentes de deforestación, donde esta práctica es parte importante del sustento de muchas familias y la economía rural. Los sistemas silvopastoriles pueden ser un factor determinante en la recuperación de suelos y pasturas degradadas, mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, reforestación y conservación de la biodiversidad reduciendo la presión sobre el bosque.

Con esto en mente, esta cartilla ha sido desarrollada con el fin de orientar al productor hacia unas buenas prácticas ganaderas, que contribuyan a la conservación, recuperación y uso sostenible de la biodiversidad, mejorando a su vez la productividad y rentabilidad del sector agropecuario en la región amazónica colombiana, y promoviendo prácticas sostenibles en los sistemas productivos.

Su enfoque busca acercar, de una manera sencilla, a los productores ganaderos al concepto de los sistemas silvopastoriles, con lo cual se intenta promover una relación más armoniosa con el medio ambiente, disminuyendo la ampliación de la frontera agropecuaria, reduciendo la deforestación de la región amazónica, protegiendo hábitats de especies endémicas de fauna y flora, sirviendo como refugios que conecten a los parches de bosque que existen en las fincas ganaderas.

Aquí se abordan los componentes e importancia de los diferentes sistemas silvopastoriles, describiendo sus generalidades, brindando pautas para el establecimiento y manejo de los diferentes arreglos, como cercas vivas, árboles dispersos en potreros, plantaciones silvopastoriles y sistemas silvopastoriles.

Se invita al lector a conocer una nueva forma de establecer la ganadería mediante los sistemas silvopastoriles, adoptando una posición más amigable con el medio ambiente y contribuyendo a disminuir los efectos del cambio climático en la región amazónica.

La cartilla se realizó dentro del marco de la iniciativa Visión Amazonía del Gobierno de Colombia, que busca promover el desarrollo sostenible y reducir la deforestación en la región amazónica de este país.

La incorporación de los árboles en áreas destinadas al uso de la ganadería tradicional conforma un sistema silvopastoril sostenible que no solamente proporciona alimento a los animales, sino que además contribuye a mejorar el clima, recuperar sitios degradados, intensificar el uso del suelo de forma sustentable, diversificar la producción y generar mayores ingresos para los productores.

Con el establecimiento de árboles de uso múltiple, se logra una mayor productividad (litros de leche/vaca, kilos de carne/res), mejorar los ingresos totales a mediano y largo plazo, reducir el riesgo de pérdidas económicas a través de la diversificación de la producción (leche, carne, leña, madera, etc.), disminuir los efectos perjudiciales del estrés climático sobre la producción de plantas y animales, mitigar los efectos adversos de los sistemas tradicionales, tales como quema y erosión, y conservar las fuentes de agua que proveen servicios ecosistémicos para múltiples usos, incluida la ganadería.

Contenido

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción | 2 |
| 2. Generalidades | 3 |
| Ganadería sostenible en el contexto amazónico..... | 3 |
| Ganadería y deforestación..... | 4 |
| ¿Qué son los sistemas silvopastoriles?..... | 4 |
| Componentes de los sistemas silvopastoriles..... | 5 |
| Importancia de los sistemas silvopastoriles..... | 6 |
| Especies vegetales recomendadas para sistemas silvopastoriles en el contexto amazónico..... | 7 |
| 3. Características de los diferentes sistemas silvopastoriles | 8 |
| Cercas vivas..... | 8 |
| Gramíneas recomendadas para sistemas silvopastoriles en general..... | 9 |
| Árboles dispersos en potreros..... | 10 |
| Sistemas silvopastoriles intensivos..... | 12 |
| 4. La agroforestería: estrategia productiva para lograr la sostenibilidad en la ganadería | 15 |
| Indicadores de rentabilidad de estrategias basadas en arreglos agroforestales..... | 16 |
| Anexos | 19 |
| Anexo 1. Árboles y arbustos recomendados para SSP - según el tipo de sistema..... | 19 |
| Bibliografía | 21 |

Cuadros

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. | Especies vegetales recomendadas para sistemas silvopastoriles en el contexto amazónico | 8 |
| Cuadro 2. | Gramíneas recomendadas para sistemas silvopastoriles (SSP) | 9 |
| Cuadro 3. | Leguminosas forrajeras recomendadas para asocio en SSP | 13 |
| Cuadro 4. | Indicadores de rentabilidad para las diferentes tecnologías silvopastoriles y agroforestales | 17 |



1. Introducción

La Amazonía, considerada “el pulmón del mundo”, es el área de bosque tropical más grande del planeta, clave para la regulación del clima y hogar de la cuarta parte de las especies terrestres del planeta, donde se produce el 15% de la fotosíntesis terrestre (MADS, 2017), cuenta con una alta diversidad de fauna y flora, y contiene enormes sumideros de carbono. Todo esto contribuye con beneficios económicos y sociales esenciales.

Esta región cubre un área de 45.8 millones de hectáreas, 6.8% de la totalidad de la gran cuenca amazónica, más grande que el área de Alemania e Inglaterra juntas. Esta región incluye un extenso sistema de áreas protegidas, conformado por:



11 Parques nacionales naturales



2 Reservas naturales



1 Santuario de flora y fauna

Cuenta además con 169 resguardos indígenas de gran importancia, que se extienden sobre un territorio de 25.6 millones de hectáreas (53% de la región). A pesar de cubrir el 40% del territorio nacional colombiano, la región aporta apenas el 1% del PIB nacional y presenta no solo las más altas tasas de pobreza y deforestación, sino los más bajos índices de desarrollo social con grandes niveles de informalidad, ilegalidad y baja presencia estatal (MADS, 2015). La deforestación en la Amazonía es impulsada principalmente por agentes locales que responden a las presiones sociales y a las realidades económicas subyacentes. Tales agentes tienen un efecto comparativamente pequeño pero catalizador en la expansión a gran escala de la ganadería extensiva, los agronegocios y la colonización (MADS, 2015).

Con miras a lograr la meta de cero deforestación para el año 2020, anunciada en Copenhague en 2009 durante la XV Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático (COP15), el Gobierno de Colombia creó la iniciativa Visión Amazonía. Además de lograr una meta de cero deforestación, esta iniciativa tiene

como objetivo establecer cadenas productivas de la agricultura ambientalmente sustentables, donde se consiga mejorar los indicadores de bienestar de los pobladores de la región, aprovechando la biodiversidad propia del bioma amazónico de una manera responsable.

La iniciativa Visión Amazonía se fundamenta financieramente en un acuerdo de pago por resultados en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero por medio de reducciones en la tasa de deforestación. Los Gobiernos de Noruega, Alemania y el Reino Unido, por intermedio del programa REM (siglas de REDD+ Early Movers – que recompensa a los pioneros en la protección de los bosques), han acordado destinar una cifra próxima a los US\$100 millones para apoyar esta iniciativa.

Visión Amazonía se cimienta en cinco pilares que buscan: mejorar la gobernanza forestal, promover un desarrollo sectorial sostenible, fortalecer la gobernanza ambiental de los territorios indígenas, fortalecer un sistema eficaz de monitoreo, reporte y verificación y, por último, promover un desarrollo agroambiental sustentable. Este último pilar (agroambiental) busca combatir los motores agropecuarios de la deforestación y promover los sistemas que promuevan prácticas sostenibles. Este es el caso de los sistemas silvopastoriles para el caso de la ganadería.

La implementación de los sistemas silvopastoriles, es una de las alternativas para frenar los motores agropecuarios de la deforestación, aumentando el bienestar social y económico de los productores de ganado y promoviendo prácticas sostenibles y amigables con el ambiente, como la reducción de la deforestación y la conservación de los bosques. Bajo los sistemas silvopastoriles, se incrementa la producción ganadera y, por ende, los ingresos, mediante el aumento de la productividad de los pastos por unidad de superficie, a la vez que contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a mejorar la adaptabilidad de los sistemas ganaderos frente al cambio climático.

Por otra parte, el establecimiento de árboles, en cualquiera de los arreglos silvopastoriles, permite suplir la demanda de madera y otros productos forestales por parte de los predios ganaderos, ya que en sí, el sistema silvopastoril produce leña, madera para construcción, cercado y comercio. Además esta práctica provee forraje, frutos y carbón, evitando así la tala de los

bosques y la deforestación causada por la ganadería extensiva. Asimismo, reduce la dependencia hacia insumos externos como los fertilizantes, especialmente la urea, considerada la principal fuente de nitrógeno para las plantas, la cual es suplida fácilmente por el componente arbustivo y, en particular, por las leguminosas, las cuales tienen la propiedad de fijar nitrógeno presente en el medio ambiente y ponerlo disponible en el suelo para el aprovechamiento de las plantas, en especial de las gramíneas.

2. Generalidades

Ganadería sostenible en el contexto amazónico

Enfoques integrales sostenibles como la implementación de sistemas silvopastoriles unidos a una serie de buenas prácticas de manejo ganadero han mostrado resultados exitosos para el mejoramiento de la productividad y la rentabilidad, la generación de servicios ecosistémicos, la reducción de la huella de carbono y la adaptación al cambio climático frente a la ganadería basada en enfoques tradicionales (www.catie.ac.cr/en-que-trabajamos/ganaderia-sostenible).

Adaptar los sistemas de producción agropecuaria a los cambios ambientales y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero son acciones urgentes para enfrentar el cambio climático y las limitaciones de clima, topografía, enfermedades parasitarias y la calidad de los pastos – barreras que han sido casi insalvables para el desarrollo de una ganadería más especializada en producción lechera y cárnica en las regiones tropicales de Suramérica, dado que requieren una alta capacidad de inversión. Estas condiciones determinan que varios de los recursos naturales indispensables para la producción sostenible, como los suelos, sean especialmente vulnerables a los manejos agresivos de labranza, pisoteo y deshierbe. Adicionalmente, los monocultivos de pastos sin rotación o con cargas animales elevadas generan compactación rápida y, en el mediano plazo, erosión de diversas magnitudes.

Esta situación hace necesaria la implementación de nuevos sistemas de uso del suelo y mejores prácticas de manejo para el sector ganadero, con el fin de aumentar la productividad y rentabilidad, disminuir los efectos adversos para el ambiente y adaptar los sistemas de producción ganadera al cambio climático.

Los sistemas silvopastoriles, junto con otras prácticas como manejo de sanidad animal y conservación de forrajes, son una alternativa para transitar hacia una ganadería más sostenible, ya que promueven un mejor uso de los recursos naturales, mejorando a su vez la productividad y rentabilidad de las operaciones, y aportando alternativas de mitigación y adaptación frente al cambio climático.

Ganadería y deforestación

Las causas de la deforestación en Colombia son todavía debatidas, ya que se identifican diferencias de orden regional e incluso de orden local con respecto a las causas y tasas de cambio de cobertura de bosques (Armenteras et al., 2009, 2013; Sánchez-Cuervo & Aide, 2013). Estas diferencias reflejan diversos contextos socioeconómicos y demográficos (Armenteras et al., 2011), políticos (por ej., diferentes grupos armados) (Sánchez-Cuervo y Aide, 2013), agroclimáticos e institucionales (por ej., categorías de gestión forestal como áreas de conservación, tierras colectivas o zonas de amortiguamiento de áreas protegidas) (Armenteras et al., 2009).

Algunos estudios identifican a la conversión a pastos para ganadería como una importante causa directa de la deforestación en Colombia (Dávalos et al., 2011; 2014; Etter et al., 2006, 2008; Viña y Cavelier, 1999). Mientras que otros identifican a los cultivos ilícitos como causantes directos de la deforestación actual (Álvarez, 2002; Armenteras et al., 2006; Cavelier y Etter, 1995; Dávalos et al., 2011).

En general, los procesos de colonización en Colombia se han caracterizado por la relación entre cultivos ilícitos y pastos para ganado. Y se considera que la apertura de nuevos frentes de colonización agrícola usualmente inicia con la producción de cultivos ilícitos que posteriormente derivan en grandes extensiones de pastos para ganadería (Chadid et al., 2015; Dávalos et al., 2009; Etter et al., 2005; Van Ausdal, 2009; Viña et al., 2004). El rol diferenciado de la ganadería y de los cultivos ilícitos en los procesos de colonización estaría determinado por factores de accesibilidad. De esta manera, los cambios de cobertura atribuidos a los cultivos ilícitos se relacionan principalmente con la apertura de nuevos frentes de colonización, mientras que la deforestación causada por pastos para ganado se relaciona con la expansión de la frontera agrícola y la consolidación de zonas urbanas (Chadid et al.,

2015). A pesar del rol predominante de los cultivos ilícitos en el inicio de los procesos de colonización, este aún no ha sido suficientemente explorado en la literatura académica. De manera similar, la lógica de la producción ganadera aún no es entendida en su totalidad. Ello a pesar del consenso de que la tierra deforestada en Colombia ha sido convertida históricamente en pastos para ganadería extensiva (Chadid et al., 2015; Van Ausdal, 2009; Viña et al., 2004).

¿Qué son los sistemas silvopastoriles?

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son la combinación de la ganadería con diferentes especies vegetales, tales como gramíneas, leguminosas (herbáceas y arbustivas), leñosas perennes y árboles (forestales y frutales, etc.), que brindan beneficios tanto ambientales como productivos. Los beneficios generados por estos sistemas incluyen la reducción en la aplicación de insumos externos, la fijación de nitrógeno a nivel del suelo, confort animal por reducción del estrés calórico, reducción en los ciclos productivos y mejoramiento en la calidad de la dieta (Sotelo et al. 2017), ya que el ganado puede consumir el forraje, producido en los sistemas silvopastoriles, directamente en el sitio o se puede cortar y acarrear para ofrecerlo en comederos.

El término “silvopastoril” abarca una gran variedad de arreglos, entre ellos, cercas vivas, surcos dentro de la pradera, árboles dispersos, plantaciones de árboles (maderables y frutales) y bancos forrajeros.

Los SSP son, por tanto, una práctica agroforestal que combina árboles o arbustos con praderas y ganado, con el objetivo de obtener productos forestales madereros (madera, postes, leña, carbón) y (frutos, miel, hongos y otros), productos derivados del ganado (carne, lana, leche y otros) y forraje de la pradera (Ojeda y Restrepo, 2003).

Permiten además mejorar las relaciones de los sistemas arbóreos, hídricos y, sobre todo, la protección del recurso suelo. También favorecen la relación armoniosa con el medio ambiente y la protección de especies animales endémicas, al servir como refugios y formar franjas de árboles que se conectan a los parches de bosques que existen en las fincas ganaderas (CRS, 2015).

Entretanto los SSP son fundamentales para el proceso de cambio, estos pueden tener, además de la actividad pecuaria, otros usos complementarios como la producción de madera y frutos, el beneficio de un microclima más benigno, la oferta de hábitat para la fauna silvestre, la regulación hídrica en cuencas hidrográficas y una mayor belleza del paisaje (Murgueitio et al., 2003).

Las tecnologías silvopastoriles ofrecen una alternativa ambientalmente amigable frente a los sistemas

convencionales de producción ganadera. En sistemas ganaderos tropicales, se han probado prácticas silvopastoriles que mejoran la productividad de las pasturas y del ganado (Holmann et al., 2004), diversifican la producción (Current et al., 1997), incrementan los ingresos (Dagang y Nair 2003) y proveen servicios ambientales como almacenamiento de carbono (Chacón et al. 2006), incremento de la biodiversidad (Harvey y Haber, 1999) y disminución de la escorrentía superficial (Ríos, 2006).

Componentes de los sistemas silvopastoriles

Los principales componentes del sistema silvopastoril son:



Suelo: Punto de anclaje y desarrollo para el pasto y los árboles, aporta los nutrientes y agua necesarios para el desarrollo de las plantas.



Árboles y arbustos: Son una de las principales herramientas para la captura de carbono del medio ambiente al suelo, regulación de la temperatura mediante la generación de microclimas que aprovecha el animal en los momentos más intensos de calor en el día, aportan grandes cantidades de materia orgánica al suelo mediante la senescencia de sus hojas, son fuente de alimento para los animales, hogar de fauna y flora, y contribuyen a minimizar la erosión al reducir el impacto directo de las gotas de agua de lluvia sobre el suelo. Ver en **Anexo 1** especies recomendadas para SSP según el tipo de sistema.



Pastos: Por excelencia, la principal y más económica fuente de alimento para el ganado, aporta materia orgánica a través de la biomasa aérea, contribuye al ciclaje de nutrientes, protege el suelo de la radiación solar y del golpe de la gota de agua evitando la dispersión y erosión del mismo.



Agua: Líquido vital en cualquier sistema productivo. Es sumamente importante contar con el recurso hídrico si se desea apuntar a una ganadería sostenible, rentable y amigable con el medio ambiente, garantizando que el agua vaya al animal y no el animal al agua, de modo que cada potrero cuente con un bebedero y así evitar la entrada de los animales a los nacimientos de agua, quebradas y demás fuentes hídricas.



Animales: Son una de las principales fuentes de alimento proteico para la alimentación humana, tanto en carne como en leche y los derivados de cada una de estas.

Importancia de los sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles proporcionan una gran cantidad de beneficios, no solo para el animal y el productor, sino también para el suelo y el medio ambiente. A continuación se mencionan algunos de estos beneficios.

Los sistemas silvopastoriles mejoran significativamente la calidad de la dieta que se le oferta al animal, mediante la combinación de gramíneas y leguminosas, siendo estas últimas altamente ricas en proteína y fibra que el animal puede aprovechar y convertir en carne y/o leche. Asimismo, mejoran la disponibilidad y calidad de alimentos para el ganado en cualquier época del año. Por ejemplo, los árboles dispersos en los potreros y los que se siembran en las cercas vivas o franjas dentro del potrero, ofrecen frutos y hojas al ganado, especialmente en momentos críticos como la época prolongada de sequía.

Permiten diversificar la producción ganadera y aumentar los ingresos y el bienestar de las familias, mejorar la capacidad de carga animal por hectárea, de manera que la productividad animal (carne y/o leche) (Sotelo et al., 2017) por unidad de área será superior que con los sistemas ganaderos tradicionales. Además, los sistemas silvopastoriles brindan ingresos adicionales aparte de la ganadería, como la posibilidad de tener especies arbóreas maderables que en un lapso de tiempo se podrán cosechar y comercializar como madera para muebles, posteadura o, en el caso de las plantaciones, como pulpa para papel, entre otras.

Las raíces de los árboles amarran el suelo y evitan su arrastre por las corrientes de agua durante y después de las lluvias. Las cortinas rompevientos también reducen la erosión del suelo.

Los árboles proporcionan sombra para el ganado, con lo cual el ganado se siente mejor y produce más por la frescura de la sombra bajo los árboles.

Las raíces de los árboles extraen nutrientes de las capas de suelo a mayor profundidad, y luego se incorporan

en las capas superficiales mediante la caída de las hojas y mejoran su fertilidad (CRS, 2015).

Los árboles además ayudan a la protección de los afluentes hídricos, al permitir la infiltración de agua a través de las capas que componen el suelo, promueven la biodiversidad tanto de la flora como de la fauna al servir de hogar para los animales silvestres.

Los árboles capturan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2), el gas que más influye en el calentamiento del planeta, y evitan que se incorpore al aire en la atmósfera. Es de notar también que la ganadería contribuye al cambio climático directamente a través de las emisiones de gas metano (CH_4). Estas emisiones son producidas directamente a través de la fermentación realizada en el rumen o panza del ganado, por lo cual el ganado produce y expulsa gas metano. Por otro lado, la ganadería contribuye de forma indirecta, por la deforestación con fines de establecer pasturas. Cuando se talan árboles para formar potreros, se liberan a la atmósfera grandes cantidades de carbono almacenado en la vegetación.

Se ha demostrado ampliamente que mediante los sistemas silvopastoriles pueden integrarse árboles con pastos sin que disminuya la producción de forrajes. Esto reduce la deforestación en fincas ganaderas y permite aprovechar los árboles y arbustos para capturar más carbono.

Adicionalmente, al aumentar la cantidad de alimentos en cada potrero, se frena la expansión del uso de la tierra para fines ganaderos en áreas de bosque. Mediante la implementación de sistemas silvopastoriles y otras prácticas mejoradas de alimentación, se aumenta la cantidad y calidad de alimentos. Esto hace que se aumente la eficiencia del proceso digestivo y se reduzca la emisión de metano. Existe evidencia que indica que la implementación de sistemas silvopastoriles redujo las emisiones de metano en un 21% y, al mismo tiempo, las emisiones de óxido nitroso del suelo en un 36% (CRS, 2015).



Especies vegetales recomendadas para sistemas silvopastoriles en el contexto amazónico

La Amazonía colombiana, bajo sus condiciones propias de clima y suelo, presenta una de las más exuberantes vegetaciones del mundo. Por tal razón, estos ecosistemas permiten tener una amplia oferta en recursos naturales para su utilización. Sin embargo, la transformación del uso del suelo de bosque a áreas de pastoreo para la implementación de un modelo productivo ganadero insostenible ha generado la eliminación del árbol como uno de los componentes importantes del ecosistema, degradando así los recursos naturales y los sistemas de producción.

Las corrientes vigentes de innovación en los sistemas pecuarios desarrollan esquemas productivos que posean procesos más sostenibles, vinculando elementos desde las dimensiones económica, social y ambiental. La demanda de plantear y triplicar modelos productivos con capacidad de incrementar los flujos económicos a nivel de finca, mejorar la calidad de

vida de los productores y permitir la estabilidad de los recursos naturales, ha generado inquietudes que distintos actores, desde investigadores a productores, han tratado de solucionar. Es ahí donde los sistemas silvopastoriles juegan un papel importante en la innovación de estos sistemas productivos.

En este sentido, la utilización de especies vegetales nativas adaptadas a las condiciones ambientales locales para la incorporación a los sistemas ganaderos como prestadoras de servicios ecosistémicos (sombra, leña, forraje, frutos, entre otros) es una alternativa sostenible. Es así que, a partir de los procesos de regeneración natural que se dan por especies vegetales en las áreas de pastoreo o en áreas que son aisladas por los productores para su recuperación, diferentes investigadores (Cipagauta y Velásquez 2004; Orjuela et al., 2011; Suárez y Orjuela 2011; Álvarez et al., 2017) han identificado la potencialidad de diferentes plantas herbáceas y leñosas perennes útiles para el diseño e implementación de sistemas silvopastoriles y/o agrosilvopastoriles.

Cuadro 1. Especies vegetales recomendadas para sistemas silvopastoriles en el contexto amazónico

| # | Nombre | | Tipo de planta |
|---|--------------------|------------------------------|----------------|
| | Denominación local | Nombre científico | |
| 1 | Pate vaca | <i>Bauhinia tarapotensis</i> | Árbol |
| 2 | Totumo | <i>Crescentia cujete</i> | Árbol |
| 3 | Carbón | <i>Zygia longifolia</i> | Árbol |
| 4 | Yarumo | <i>Cecropia ficifolia</i> | Árbol |
| 5 | Boca de indio | <i>Piptocoma discolor</i> | Árbol |
| 6 | Cordoncillo | <i>Piper bredemeyeri</i> | Arbusto |
| 7 | Bijao | <i>Calathea lutea</i> | Herbácea |
| 8 | Platanillo | <i>Heliconia rostrata</i> | Herbácea |

Fuente: Faver Alvarez Carrillo/UNIAMAZ.

3. Características de los diferentes sistemas silvopastoriles

Cercas vivas

Las cercas vivas son un tipo de cobertura arbórea y son de las prácticas comúnmente utilizadas en la ganadería del trópico. Consiste en el establecimiento de árboles o arbustos para la delimitación de potreros, cultivos y predios, como protección para impedir el paso de los animales y generar un microclima confortable y favorable para la producción animal (Arango et al., 2016; Ivory, 1990; Otárola, 2000). Asimismo, los cercos vivos pueden constituirse en corredores biológicos que contribuyen a la conservación de fauna silvestre.



Barrera viva de *Acacia mangium* (M. Sotelo/CIAT).



Establecimiento

Su establecimiento es hasta un 50% más económico que el de las cercas convencionales. Bajo este sistema, se pueden usar especies que sean de crecimiento frondoso y que su arquitectura de desarrollo permita que se forme una especie de barrera evitando el paso de animales a través de estas. Se pueden utilizar varias especies que difieren en altura y frondosidad.



Manejo

La cercas vivas son tal vez de los sistemas que requieren menos manejo, ya que su objetivo es el de delimitar áreas, por lo cual lo que se busca es que el espacio entre una planta y otra sea mínimo, razón por la cual no se realizan las podas comúnmente utilizadas bajo otro tipo de arreglo silvopastoril.



Aprovechamiento

El establecimiento de las cercas vivas constituye una forma de reducir la presión sobre el bosque para la obtención de postes y leña, dado que representan una forma de introducir árboles en los potreros, los cuales sirven como soporte para el alambre de púas o para la cerca eléctrica en las divisiones de cada potrero (Arango et al., 2016). Constituyen además un ahorro del 54% respecto al costo de las cercas convencionales (Romero et al., 1993).



Novillos en pastoreo - SSP Brachiaria híbrido cv. Cayman + L. diversifolia (M. Sotelo/CIAT).

Gramíneas recomendadas para sistemas silvopastoriles en general

Cuadro 2. Gramíneas recomendadas para sistemas silvopastoriles (SSP)

| Nombre común | Nombre científico | Fertilidad suelos | Drenaje | Altitud | Precipitación | Densidad siembra | Utilización |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|-----------|----------------|------------------|-----------------------------------------------------------|
| Brizantha | <i>Brachiaria brizantha</i> (Hochst. ex A. Rich.) Stapf | Media a alta | Tolera periodos cortos de encharcamiento | 0–1.800 m | 1.000–3.500 mm | 6–8 kg/ha | Pastoreo, corte y acarreo, barrera viva |
| Pasto Humidicola | <i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweick | Baja | Tolera periodos cortos de encharcamiento | 0–1.800 m | 1.000–4.000 mm | 6–8 kg/ha | Pastoreo, control de erosión |
| Mulato II, Cayman | <i>Brachiaria híbrido</i> | Media | Buen drenaje | 0–1.800 m | 1.000–3.500 mm | 6–8 kg/ha | Pastoreo, heno, ensilaje |
| Pasto Braquiaria, pasto alambre, pasto amargo, pasto peludo | <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf | Baja | Buen drenaje | 0–1.800 m | 1.000–3.500 mm | 6–8 kg/ha | Pastoreo |
| Pasto Angleton | <i>Dichanthium aristatum</i> (Poir.) C.E. Hubb | Media a alta | Buen drenaje | 0–1.400 m | > 850 | 4–6 kg/ha | Pastoreo, corte y acarreo, heno |
| Pasto Guinea, saboya, Panicum | <i>Megathyrsus maximus</i> – <i>Panicum maximum</i> Jacq. | Media a alta | Buen drenaje | 0–1.500 m | 1.000–3.500 mm | 6–8 kg/ha | Pastoreo, corte y acarreo, barreras vivas, heno, ensilaje |



Árboles dispersos en potreros

Este tipo de sistema se puede establecer de manera planificada o se pueden utilizar árboles y/o arbustos ya presentes en la pradera. Cualquiera de las dos opciones es viable. Todo depende de la disposición del productor a velar y cuidar del sistema. Si se toma la opción de aprovechamiento de especies ya presentes en el potrero, se debe pensar en hacer una soca o poda de la vegetación que exista en el potrero, de manera que se elimine o disminuya la población vegetal, permitiendo así el buen desarrollo de las pasturas evitando la competencia por luz y nutrientes entre las mismas, ya que el componente arbóreo en función de su densidad puede modificar el rendimiento de las pasturas, debido a que la copa de los árboles influye sobre la cantidad y calidad de radiación fotosintéticamente activa utilizada por las gramíneas durante el proceso fotosintético (Mathew et al., 1992). Si por el contrario, la decisión es establecer nuevas especies en la pradera, se debe pensar en seleccionar especies de rápido crecimiento, permitiendo habilitar

el potrero lo más pronto posible sin que los animales afecten el buen desarrollo de las mismas.

Bajo este sistema, se pueden obtener beneficios como:

- Confort para los animales por la disminución del estrés calórico
- Sitios para sesteadero de los animales
- Fijación de nutrientes a nivel del suelo (Sotelo et al., 2017)
- Oferta de madera, la cual puede ser cosechada para la elaboración de postes para cercos, de muebles y para uso forestal, etc.

Asimismo, se debe tener en cuenta que no todas las especies vegetales son deseadas en un potrero, por lo que se hace necesario seleccionar especies de los árboles/arbustos que sean de interés en el sistema y en la pradera.



Establecimiento

Cuando se planea la siembra de árboles en un sistema, se debe tener presente que según las especies seleccionadas para el establecimiento, dependerá el tiempo que estará en descanso el potrero. Ya que no todas las especies cuentan con el mismo desarrollo, por lo cual es muy importante contar con plantas de rápido crecimiento y establecimiento, de manera que los animales estén el menor tiempo posible por fuera del potrero.

Los árboles o arbustos que se elijan para establecer bajo este sistema deben ser puestos

en puntos estratégicos en la pradera, de manera que su distribución permita el buen desarrollo de las pasturas. La densidad de siembra varía según el hábito de crecimiento y arquitectura de la planta. Árboles con un fuste muy amplio son árboles que deben manejarse en una baja población, al igual que árboles con fuste muy denso, por ser especies que no permiten el desarrollo de otras especies bajo su copa, debido a la reducción en el paso de los rayos solares, lo cual impediría los procesos fotosintéticos, vitales para el crecimiento vegetal.



Manejo

Cuando se introducen especies arbóreas/ arbustivas en un potrero, es posible tener al mismo tiempo animales en pastoreo, siempre y cuando se protejan las plantas de manera que los animales no las ramoneen. Estas pueden protegerse con la utilización de cercas de púas que delimiten el contorno de la planta, poniendo un cerco a 1.5 metros de distancia de la misma para evitar que el animal alcance a comerla. Sin embargo, esta es una práctica que demanda mayor atención por parte del ganadero, ya que los animales, en ocasiones, rompen la cerca y afectan el desarrollo de las plantas.



Aprovechamiento

El tiempo de aprovechamiento depende de la especie. Una manera de saber cuándo es momento de abrir los cercos para que los animales puedan gozar de los múltiples beneficios que ofrece este sistema es cuando la planta es lo suficientemente alta y gruesa para evitar que el animal pueda ramonearla. Se debe aclarar que es necesario conocer las características agronómicas de las especies a trabajar, ya que no es una condición definitiva el contar con un grosor de tallo considerable, dado que en ocasiones ciertas especies vegetales no cuentan con mucha flexión cuando el animal se recuesta sobre esta.



Vacas en pastoreo - SSP Guazuma ulmifolia + Brachiaria híbrido cv. Cayman (M. Sotelo/CIAT).



Sistemas silvopastoriles intensivos

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) se caracterizan por combinar 7.000 arbustos o más por hectárea y pastos mejorados, en asociación con árboles dispersos en densidades de 30 a 50 individuos por hectárea (Uribe et al., 2011). Este sistema busca incrementar la producción de forraje o alimento para los animales, a su vez mejorar la capacidad de carga

por unidad de área y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la ganadería. Además, existe una serie de prácticas y tecnologías asociadas a la producción ganadera sostenible que pueden ser herramientas que contribuyan a mitigar y adaptarse al cambio climático (Murgueitio et al., 2011).



Establecimiento

Partiendo de la caracterización y de la vegetación presente en el terreno, se entra a determinar qué especies son benéficas y cuáles no deben permanecer en los sistemas. Con base en esto, se puede hacer selección y poda de árboles, conservando los de porte alto, nativos y/o de interés económico. Para aprovechar la vegetación de porte herbáceo o rastrero, se debe ingresar una alta carga animal, de manera que consuman la mayor cantidad de forraje posible, disminuyendo así los costos de compra y aplicación de herbicidas.

Una vez se haya acondicionado el terreno, se procede a prepararlo mediante uno o dos pases de rastra con tractor o tracción animal (dependiendo de la disponibilidad y topografía del terreno). Esto con el fin de acondicionar el suelo para garantizar el buen desarrollo de las especies a plantar. Dependiendo de las especies arbustivas que se utilicen, se manejan diferentes densidades de siembra que van desde 7.000, 10.000 a 15.000 plantas por hectárea.



Manejo

Una vez establecidas las arbustivas se debe dar un período de descanso al potrero con el fin de garantizar una buen desarrollo radicular de las plantas, de manera que al ser ramoneadas, no se vayan a ver afectadas por el animal. Es recomendable hacer una poda a los arbustos una vez estos alcancen 1.5 metros de altura, de modo que se estimule la formación de nuevas ramas y el rebrote de las mismas.



Aprovechamiento

Posterior a la poda y una vez las plantas se hayan recuperado, los animales deberán ingresar al potrero e iniciar el pastoreo y ramoneo de las especies presentes. De acuerdo al tiempo de recuperación de cada especie, se deberá respetar el tiempo de descanso de cada potrero, de manera que se permita una recuperación adecuada, la cual puede variar entre los 55 a 70 días (según la especie). Si los animales entran antes de tiempo, la persistencia de las especies arbustivas se verá afectada, por lo que en poco tiempo se incurrirá en costos adicionales para su resiembra.



Sistema silvopastoril intensivo *Leucaena diversifolia* + pasto estrella (*Cynodon nlemfluensis*) (J.Gutiérrez/CIAT).

Cuadro 3. Leguminosas forrajeras recomendadas para asocio en SSP

| Nombre común | Nombre científico | Fertilidad suelos | Drenaje | Altitud | Precipitación | Densidad siembra | Utilización |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Diversifolia, leucaena | <i>Leucaena diversifolia</i> (Schltdl.) Benth | Baja a media | Buen drenaje | 0-2.000 m | 1.000-3.500 mm | Para pastoreo asociado con una gramínea 1 kg/ha | Pastoreo, leña, abono verde, barreras, cercas vivas |
| Leucaena | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit | Media | Necesita buen drenaje | 0-1800 m | > 750 mm | 1.5 m entre surcos, y 1 m entre plantas | Barreras vivas; rompevientos; ensilaje; cercas vivas |
| Frijol espada, frijol bravo | <i>Canavalia brasiliensis</i> Mart. ex. Benth. | Baja | No tolera inundación | 0-1.800 m | 900-1.800 mm | Para producción de semillas 1 m entre surcos y 50 cm entre plantas (20 kg/ha) | Abono verde, cobertura, control de erosión, corte y acarreo, pastoreo |

| Nombre común | Nombre científico | Fertilidad suelos | Drenaje | Altitud | Precipitación | Densidad siembra | Utilización |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Centro, campanilla, choreque | <i>Centrosema molle</i> Mart. ex Benth. - <i>Centrosema pubescens</i> Benth. | Baja a mediana | Tolera moderadamente inundaciones | 0-1.700 m | 1.000-1.750 mm | 50 a 100 cm entre surcos, 5 cm entre plantas, con 4-5 kg/ha, al voleo 25% más | Banco de proteína, cobertura, abono verde, barbecho mejorado, heno, ensilaje y pastoreo |
| Cratylia | <i>Cratylia argentea</i> (Desv.) Kuntze | Baja | Buen drenaje | 0-1.200 m | 1.000-4.000 mm | Distancias entre surcos de 1.5 m, y 1 m entre plantas | Corte y acarreo, suplemento en sequía, banco de proteína, concentrado, pastoreo, barrera viva, heno y ensilaje |

Fuente: Arango et al. (2016).

Sea cual sea el diseño silvopastoril que se adopte, el manejo para las pasturas es muy similar. La diferencia radica en si se parte de una gramínea ya establecida o si se introduce una nueva. Para el primer caso, lo ideal es hacer una renovación de la pradera mediante la mecanización con “renovador de pradera” o, en su defecto si no se cuenta con este implemento, un pase de rastra sobre el terreno, de manera que se “abra la pradera”, permitiendo el rebrote de las gramíneas y la activación de las semillas que han permanecido en estado de latencia por un largo tiempo. Esta práctica debe ir acompañada de un plan de fertilización que favorezca la rápida estimulación de los rebrotes y posterior recuperación de la pradera. Se debe aclarar que esta actividad puede favorecer la respuesta de la gramínea de interés, pero igualmente puede estimular el rebrote o la aparición de arvenses que han estado apaciguadas en el terreno. Por lo tanto, se debe manejar con mucha precaución esta práctica, de modo que no termine afectando los potreros intervenidos.

Para el segundo caso, cuando se desea establecer una nueva gramínea, se debe tener presente que los forrajes tropicales seleccionados o mejorados se consideran como un cultivo y como tal, se deben contemplar todas las etapas que requiere un cultivo (Peters et al., 2011). De un buen establecimiento, depende la productividad y persistencia de una gramínea o asociación gramínea-leguminosa.

Los pasos para el establecimiento son: adecuación del terreno, preparación del suelo, control de arvenses, siembra de la gramínea, fertilización de la pradera, período de descanso según la especie – el cual varía entre 90 y 120 días – y primera entrada de animales a pastoreo. Este pastoreo debe hacerse en promedio a los 90 días con una carga animal alta y rápida de manera que se “despunte” el pasto y estimule su rebrote de la misma. Pasados 30 días de este pastoreo, se pueden ingresar los animales normalmente al potrero de acuerdo a la capacidad de carga del sitio.



Sistema silvopastoril (M. Sotelo/CIAT).

4. La agroforestería: estrategia productiva para lograr la sostenibilidad en la ganadería

En América Latina, se ha practicado una forma de ganadería simplificada basada en monocultivos de pasto, incidiendo así en la degradación ambiental y el cambio climático (Wassenaar et al., 2007). Este tipo de práctica ha incidido en la degradación de las pasturas, causando así una disminución en la oferta de forraje (Holmann et al., 2004) y con ello una reducción en la productividad animal que afecta la eficiencia económica y la sostenibilidad del sistema a mediano y largo plazo (Szott et al., 2000).

Para que se reestructure el sector de ganado bovino, es necesario cambiar las tecnologías de producción para reducir los costos por unidad de producción (sea carne, leche o ambos) y diversificar los rubros productivos. Existen varios sistemas alternativos, la mayoría de ellos sistemas tipo silvopastoril, que ya han sido probados por medio de investigaciones llevadas a cabo en fincas (Ibrahim, 2000). Este tipo de alternativas, cumple, entre otros factores, con condiciones de sostenibilidad económica y ambiental, ya que se obtienen incrementos en la producción y paralelamente se generan servicios ecosistémicos.

Una alternativa frente a los problemas de degradación de los recursos naturales por cambios en el uso del suelo es la implementación de sistemas agroforestales (SAF), como una forma de uso de la tierra. En estos sistemas, los árboles o arbustos interactúan biológica y económicamente en una misma superficie con cultivos y/o animales asociados de forma simultánea o secuencial (Nair, 2004). Con esto en mente, su propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible (Schroth et al., 2001). Además, ofrecen múltiples bondades al ambiente productor, como la protección del suelo contra la erosión y el aporte de materia orgánica al mismo, proveen alimento y sombra a los animales y favorecen la conservación de la biodiversidad. Asimismo, con la integración de especies leñosas dentro de estos sistemas, se promueve la recuperación de áreas degradadas (Razz y Clavero, 2006) y la captura de dióxido de carbono (Ibrahim et al., 2007; Mutuo et al., 2005).



Leucaena diversifolia asociada con Brachiaria híbrido (CIAT).

Los SAF se caracterizan por contar con sistemas de producción diversificados que pretenden disminuir la vulnerabilidad económica y financiera frente a los riesgos climáticos, las enfermedades y las oscilaciones del mercado, para fortalecer la unidad familiar, rescatar elementos culturales y tradicionales, y promover el cuidado y mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos o ambientales (SA), a su vez, se definen como beneficios obtenidos de los ecosistemas para mejorar la calidad de vida de las sociedades humanas (MEA, 2005). Las estrategias agrosilvopastoriles y silvoagrícolas son herramientas que favorecen la conservación y el incremento de la biodiversidad, y se consideran una alternativa para reducir o revertir el proceso de degradación de los suelos dedicados a la ganadería. Según Harvey et al. (2006), los sistemas silvopastoriles conservan la biodiversidad que aún queda en el paisaje y disminuyen la presión en los remanentes de bosques.

Los estudios realizados demuestran que los SAF con producción destinada al mercado son rentables; sin embargo, son a la vez de mayor riesgo que los sistemas de subsistencia debido a los problemas inherentes a la demanda y los precios de mercado (Ramírez et al., 2001). Los arreglos agroforestales, entendidos como el manejo de los árboles en las fincas, podrían reducir la deforestación y la pobreza. Los SAF incluyen diversos sistemas de uso del suelo, desde sistemas silvopastoriles (SSP) hasta huertos caseros, producción de madera en fincas y árboles integrados con otros cultivos.

Los SAF y las plantaciones forestales representan sumideros importantes de carbono, ya que las especies arbóreas pueden retenerlo en los tejidos por un tiempo prolongado, lo cual depende del turno de corte, que puede ser aproximadamente de 25 años (Ávila et al., 2001). Para ello, es fundamental establecer la biomasa y cuantificar las cantidades de carbono que se capturan de la atmósfera y que son retenidas por dichas especies (Andrade e Ibrahim, 2003).

Indicadores de rentabilidad de estrategias basadas en arreglos agroforestales

Al realizar análisis económicos relacionados con indicadores de rentabilidad (VAN: valor actual neto, B/C: relación beneficio/costo, TIR: tasa interna de retorno, VET: valor esperado de la tierra) a diferentes espacios temporales, estos indicadores aumentan

con el tiempo, ya que dependen de la estructura del arreglo agroforestal (composición de árboles y leñosas perennes). El Cuadro 4 muestra los resultados de la modelación de los indicadores de rentabilidad entre sistemas silvopastoriles y agroforestales. Al comparar el VAN a los diez años se encontró que “Pasturas Mejoradas” presentó el menor valor comparado con los que tienen mejoramiento en la alimentación aportada por arreglos intensivos como los “Bancos de Proteína”.

Vale la pena mencionar que el mejoramiento con especies de Brachiarias es una opción rentable al ser comparada con los indicadores de rentabilidad obtenidos en áreas de pastura en estado de degradación. En este sentido, bajo un sistema tradicional con pastura natural, se obtiene un ingreso de \$407.086 para el segundo año, teniendo en cuenta una carga animal de 0.7 UA ha⁻¹ y una producción de leche de 2.9 lt vaca⁻¹ día⁻¹, pero esta producción decae en el tiempo debido a la reducción de la capacidad productiva de la misma, por lo cual se llega a un ingreso aproximado a cero para el décimo año. Por otro lado, al implementar estas tecnologías, se genera un costo inicial con valores negativos para pastura mejorada, pastura mejorada asociada con *Arachis pinto* y banco de proteína para corte y acarreo.

Los ingresos netos que se perciben a partir de la implementación de pasturas mejoradas son positivos, dado que muestra un período de repago de cinco años con utilidades de \$1.710.885 debido al incremento de la productividad animal con una carga animal de 1.4 UA ha⁻¹, producción de leche 4 lt vaca⁻¹ día⁻¹ y carne 430 gr animal⁻¹ día⁻¹. En un estudio realizado, Pérez y Lascano (1992) reportan para la zona de Villavicencio, Colombia, ganancias de peso por UA de 203 kg año⁻¹ y de 609 kg de carne ha⁻¹ año⁻¹. Bianchi et al. (2001) reportan para Brasil 290 y 342 kg carne ha⁻¹ año⁻¹. Por su parte, Hernández et al. (1995), para la zona de Guápiles, Costa Rica, reporta hasta 714 kg de ganancia ha⁻¹ año⁻¹. En un estudio en Esparza, Costa Rica, Jiménez (2007) reporta para un sistema de engorde de novillos bajo pastoreo con *B. brizantha* con suplementación de pollinaza una ganancia de peso de 570 gr animal⁻¹ día⁻¹. Casasola et al. (2007) mencionan que los cambios de pasturas degradadas y naturales a mejoradas representan ventajas para el productor ya que permiten incrementar la productividad animal (carne y/o leche) y la competitividad.

Cuadro 4. Indicadores de rentabilidad para las diferentes tecnologías silvopastoriles y agroforestales

| Arreglo | Valor actual neto (VAN) | Relación beneficio/costo (B/C) | Tasa interna de retorno (TIR) | Valor esperado de la tierra (VET) |
|-------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 10 años - Tecnología silvopastoril | | | | |
| Pasturas mejoradas | \$3.146.126 | 1.17 | 15% | \$8.407.235 |
| Pasturas mejoradas + leguminosas | \$3.793.512 | 1.18 | 19% | \$9.479.663 |
| Banco de proteínas (BP). | \$24.906.626 | 1.64 | 28% | \$24.618.471 |
| Árboles dispersos en potrero | \$5.255.572 | 1,22 | 20% | \$11.447.075 |
| Árboles en líneas | \$5.851.412 | 1.24 | 22% | \$11.664.468 |
| Sistema silvopastoril intensivo | \$38.538.906 | 1.61 | 32% | \$39.106.708 |
| Sistema silvopastoril intensivo en líneas | \$36.669.057 | 1.57 | 30% | \$39.066.718 |
| 25 años - Tecnología agroforestal | | | | |
| Cacao + abarco + plátano | \$28.434.694 | 1.52 | 15% | \$17.612.687 |
| Cacao + laurel + plátano | \$ 28.653.306 | 1.58 | 23% | \$26.623.279 |
| Cacao + caoba + plátano | \$31.407.027 | 1.59 | 16% | \$17.901.420 |
| Cacao + cedro + plátano | \$26.043.341 | 1.63 | 27% | \$21.604.536 |
| Caucho + copoazú + plátano | \$27.410.328 | 1.54 | 27% | \$16.498.434 |
| Enriquecimiento de rastrojo | \$9.700.040 | 2.06 | 6% | \$3.980.481 |

Para la tecnología de pastura mejorada, que incluye una leguminosa rastrera como *Arachis pintoii*, mejorar la oferta de forraje de calidad reduce la presencia de malezas y, en la época de sequía, resiste la escasez de agua y permite mantener la humedad del suelo. El período de repagado de esta tecnología es al quinto año con un ingreso neto de \$1.992.660, teniendo en cuenta una carga animal de 1.5 UA ha⁻¹ y una producción de leche de 4.1 lt vaca⁻¹ día⁻¹ y carne 410 gr animal⁻¹ día⁻¹. En comparación con la pastura natural, este tipo de modelo incrementa la producción animal e ingresos económicos al ganadero por venta de leche y carne. En este sentido, Suárez (2009) reporta un incremento para pastura mejorada con *Arachis pintoii* del 30% en ingreso neto, debido al aumento en los indicadores de producción animal.

Por su parte, Holmann et al. (2004) mencionan el aumento de la oferta de forraje de calidad y cantidad. Resultados similares son reportados por Barrera-Mosquera et al. (2004), quienes evidenciaron un

aumento equivalente en producción al 27% entre las pasturas mejoradas (9.5 kg vaca⁻¹ día⁻¹) y la pradera natural (7.5 kg vaca⁻¹ día⁻¹) y de beneficios netos del 40%.

Los ingresos netos que se obtiene al suplementar con banco de proteína para el año sexto y séptimo son \$8.788.173, debido al incremento en la producción de leche en 5 lt vaca⁻¹ día⁻¹ y carne 400 gr vaca⁻¹ día⁻¹. Sin embargo, López (2005) reporta en su estudio que el suministro de forraje de la leñosa a las vacas incrementó la producción de leche en un 27%, comparado con el sistema tradicional que no utiliza suplementación alimenticia. Asimismo, Sánchez (2007) menciona que una producción de leche bajo la suplementación de pollinaza fue de 4 kg vaca⁻¹ día⁻¹ y se incrementó a 5 kg vaca⁻¹ día⁻¹ con la alternativa de suplementación con el banco forrajero de *C. argentea* + caña de azúcar. Ambas estrategias de suplementación tuvieron como dieta basal potreros dominados por las especies jaragua, jengibrillo, *Brachiarias* y estrella.

Un estudio reportado por Sánchez (2007) para un banco forrajero de *C. argentea* + caña de azúcar en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica, evidenció que la inversión en dicha tecnología es rentable con un VAN y una TIR de US\$362 ha⁻¹ y 17%, estos valores son inferiores a lo reportado en el presente estudio. Los modelos “Pasturas mejoradas” y “Pasturas mejoradas + leguminosas” presentan la menor TIR de 15% y 19%, en donde árboles dispersos en potrero y árboles en líneas indican valores intermedios de 20% y 22%, en comparación a los modelos “Banco de proteína”, “Silvopastoril intensivo” y “Silvopastoril intensivo en líneas” con una TIR mayor de 28, 32 y 30%, respectivamente. Jiménez (2007) reporta una TIR de 33%, siendo este valor similar al del presente estudio, para un sistema silvopastoril intensivo. Mora et al. (2014) mencionan en un análisis de rentabilidad realizado para un sistema silvopastoril en el departamento del Tolima, un VAN de \$13.991.879, una TIR de 30% y una relación B/C de 1.37. Estos resultados coinciden con los reportados en este estudio para el sistema silvopastoril.

Por otra parte, la menor relación B/C se presenta para los modelos “Pasturas mejoradas” y “Pasturas mejoradas + leguminosas” con 1.17 y 1.18. Asimismo, los modelos “Árboles dispersos en potrero” y “Árboles en líneas” muestran menor B/C de 1.22 y 1.24. Es de mencionar que los modelos “Banco de proteína”, “Silvopastoril intensivo” y “Silvopastoril intensivo en líneas” presentan un mayor B/C de 1.64, 1.61 y 1.57, respectivamente. En este sentido, se determinó el VET para los modelos silvopastoriles, de los cuales el sistema “Silvopastoril intensivo” y “Silvopastoril intensivo en líneas” presentan los mayores valores con \$39.106.708 y \$39.066.718, seguido del “Banco de proteína” con un total de \$24.618.471.

Por el contrario, los modelos “Pasturas mejoradas”, “Pasturas mejoradas + leguminosas”, “Árboles dispersos en potrero” y “Árboles en línea” muestran los datos más bajos con \$8.407.235, \$9.479.663, \$11.447.075 y \$11.664.468, respectivamente, en comparación con los modelos antes mencionados.

El sistema “Enriquecimiento de rastrojo” presenta un menor VAN a los 25 años de \$9.700.040, una relación B/C de 2.06, una TIR de 6% y un VET de \$3.980.481, en comparación con el “Sistema cacao + caoba + plátano”, el cual presenta una VAN mayor de \$31.407.027, una relación B/C de 1.56, una TIR de 16% y un VET de \$17.901.420.

Ballesteros et al. (2009) reportaron para un sistema agroforestal de “Cacao + laurel + plátano”, para la Costa Pacífica de Nariño, un VAN de \$9.800.874 a 15 años de proyección. Estos valores son inferiores al presente estudio, ya que arrojan para arreglo agroforestal “Cacao + laurel + plátano” una VAN a los 25 años de \$ 28.653.306. Sánchez (2014) menciona para un sistema de “Cacao + abarco” a diez años una relación B/C de 1.47 y a 21 años de 1.51, el cual concuerda con el presente estudio para el arreglo agroforestal “Cacao + abarco + plátano” con una relación B/C de 1.52 a 25 años de evaluación, respectivamente. Los sistemas “Cacao + cedro + plátano” y “Caucho + copoazú + plátano” arrojaron una relación B/C de 1.63 y 1.54 a los 25 años de evaluación, situación contraria a lo reportado por López y Delgado (2006), quienes encontraron en Tabasco, México, la relación B/C para cacao bajo sombra de pimienta de 2.60 y para el monocultivo de 1.66, siendo estos valores altos comparados con los del presente estudio.

Anexo

Anexo 1. Árboles y arbustos recomendados para SSP - según el tipo de sistema

| Nombre común | Nombre científico | Tipo de sistema | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| | | Árboles dispersos | Cercas vivas | SSP intensivos |
| Acacia mangium | <i>Acacia mangium</i> Willd. | | X | X |
| Achiote | <i>Bixa orellana</i> L. | | X | |
| Algarrobo, trupillo, mezquite | <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC. | X | | |
| Almendro | <i>Terminalia catappa</i> L. | | X | |
| Árbol del Nim | <i>Azadirachta indica</i> A. Juss | | X | |
| Balso | <i>Ochroma lagopus</i> Sw. | X | | X |
| Balso tambor o gallinazo | <i>Schizolobium parahybum</i> (Vell) Blake | | X | |
| Botón de oro | <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) Gray | | X | X |
| Caimo | <i>Chrysophyllum cainito</i> L. | X | | |
| Camajón | <i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst. | | X | |
| Caracolí | <i>Anacardium excelsum</i> (Kunth) Skeels | X | | X |
| Carbonero | <i>Calliandra</i> spp. | X | | X |
| Caucho | <i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. | | | X |
| Cedro, cedro blanco, | <i>Cedrela odorata</i> L. | | X | |
| Ceiba bonga | <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn. | X | | X |
| Ceiba Tolúa | <i>Bombacopsis quinata</i> (Jacq.) Dugand | X | X | X |
| Chambimbe, chumbimbe | <i>Sapindus saponaria</i> L. | X | | |
| Chiminango, Payandé, Gallinero | <i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth. | X | X | |
| Chingalé | <i>Jacaranda copaia</i> D. Don | X | X | X |
| Ciruelo, hobo | <i>Spondias mombim</i> L. | X | | X |
| Cítricos (naranja, limón, mandarina) | <i>Citrus aurantium</i> , <i>Citrus medica</i> L, <i>Citrus nobilis</i> Lour. | | | X |
| Dinde, Mora | <i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud. | X | X | X |
| | <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden | | | X |
| Eucalipto, especies y sus híbridos | <i>Eucalyptus tereticornis</i> Sm. | | | X |
| | <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. | | | X |
| Guácimo | <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. | X | X | X |

(continúa)

(continuación)

| Nombre común | Nombre científico | Tipo de sistema | | |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| | | Árboles dispersos | Cercas vivas | SSP intensivos |
| Guamos | <i>Inga codonantha</i> Pittier | X | X | |
| | <i>Inga densiflora</i> Benth. | X | X | |
| | <i>Inga sapindoides</i> Willd. | X | X | |
| Guayaba | <i>Psidium guajava</i> L. | X | | X |
| Guayacán rosado, roble | <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC. | X | X | X |
| Igua, guachapele | <i>Albizia guachapele</i> (Kunth) Dugand | X | | |
| Indio desnudo | <i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg. | | X | |
| Jagua, majagua | <i>Genipa americana</i> L. | X | | |
| Mango | <i>Mangifera indica</i> L. | | | X |
| Matarratón | <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. | | X | X |
| Melina | <i>Gmelina arborea</i> Roxb. ex Sm. | X | X | X |
| Nogal cafetero | <i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken | X | X | X |
| Orejero, piñón de oreja | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb. | X | | X |
| Palma moriche | <i>Mauritia flexuosa</i> L.f. | X | X | |
| Palma real, palma de vino | <i>Attalea butyracea</i> (Mutis ex L. f.) Wess. Boer | | | X |
| Samán, samaguare | <i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr. | X | | X |
| Teca | <i>Tectona grandis</i> L.f. | | X | X |
| Totumo | <i>Crescentia cujete</i> L. y <i>Crescentia alata</i> Kunth | X | X | X |
| Vainillo, Flor amarillo | <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby | | X | |
| Yarumo | <i>Cecropia</i> sp. | X | | |

Bibliografía

- Álvarez M. 2002. Illicit crops and bird conservation priorities in Colombia. *Conservation Biology*, 16(4):1086–1096. Doi:10.1046/j.1523-1739.2002.00537.x
- Álvarez CF; Suárez SJC; Celis PGA. 2017. Caracterización nutricional y mineral de Boca de Indio *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski, en dos unidades de paisajes en el Municipio de Florencia, Caquetá. En prensa.
- Andrade H; Ibrahim M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10(39–40):109–116.
- Arango J; Gutiérrez JF; Mazabel J; Pardo P; Enciso K; Burkart S; Sotelo M; Hincapié B; Molina I; Herrera Y; Serrano G. 2016. Estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad de la actividad ganadera: Herramientas para enfrentar el cambio climático. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 58 p. Disponible en <http://hdl.handle.net/10568/71101>
- Armenteras D; Rudas G; Rodríguez N; Sua S; Romero M. 2006. Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators* 6(2):353–368. Doi:10.1016/j.ecolind.2005.03.014
- Armenteras D; Rodríguez N; Retana J. 2009. Are conservation strategies effective in avoiding the deforestation of the Colombian Guyana Shield? *Biological Conservation* 142(7):1411–1419. Doi:10.1016/j.biocon.2009.02.002
- Armenteras D; Rodríguez N; Retana J; Morales M. 2011. Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Regional Environmental Change*, 11(3):693–705. Doi:10.1007/s10113-010-0200-y
- Armenteras D; Rodríguez N; Retana J. 2013. Landscape Dynamics in Northwestern Amazonia: An Assessment of Pastures, Fire and Illicit Crops as Drivers of Tropical Deforestation. *PLoS One* 8(1). Doi:10.1371/journal.pone.0054310
- Ávila G; Beer J; Gómez M; Ibrahim M; Jiménez F. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32–35.
- Ballesteros W; Ramiro H; Navia J. 2009. Diseño, implementación y evaluación de arreglos agroforestales para la Costa Pacífico de Nariño. *Ciencias Agrícolas* 26(1):154–170.
- Barrera-Mosquera V; Grijalva-Olmedo J; León-Velarde C. 2004. Mejoramiento de los sistemas de producción de leche en la ecoregión andina del Ecuador. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 12(2):43–51.
- Bianchi G; Burgueño J; Fernández Abella D; Garibotto G; Cáceres R; Cesar R; Jones G. 2001. Post weaning feeding management and performance of Merino ewes grazing on natural and improved pastures at mating season. *Ciência Rural* 31(1):105–110.
- Casasola F; Ibrahim M; Ramírez E; Villanueva C; Sepúlveda C; Araya J. 2007. Pago por servicios ambientales y cambios en los usos de la tierra en paisajes dominados por la ganadería en el trópico sub húmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* (45):79–85.
- Cavelier J; Etter A. 1995. Deforestation of montane forests in Colombia as a result of illegal plantations of opium (*Papaver somniferum*).
- Cipagauta HM; Velásquez JE. 2004. Contenido de taninos de especies arbóreas nativas e introducidas con potencial forrajero en el Piedemonte Amazónico Colombiano. En: Hess H; Gómez J. (Eds.), *Taninos en la nutrición de rumiantes en Colombia*. Memorias del Taller sobre taninos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Instituto de Ciencia Animal, ETH Zurich, Suiza. Cali, Colombia. pp. 47–51.
- CRS (Catholic Relief Services). 2015. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente. CRS Managua, Nicaragua. 72 p. Disponible en <http://bit.ly/2zB0a71>

- Current D. 1997. ¿Los sistemas agroforestales generan beneficios para las comunidades rurales?: Resultados de una investigación en América Central y el Caribe. *Agroforestería de las Américas* 4(16):8–14.
- Chadid M; Dávalos L; Molina J; Armenteras D. 2015. A Bayesian Spatial Model Highlights Distinct Dynamics in Deforestation from Coca and Pastures in an Andean Biodiversity Hotspot. *Forests* 6(11):3828.
- Dávalos LM; Bejarano AC; Correa HL. 2009. Disabusing cocaine: Pervasive myths and enduring realities of a globalised commodity. *International Journal of Drug Policy* 20(5):381–386. Doi:10.1016/j.drugpo.2008.08.007
- Dávalos LM; Bejarano AC; Hall MA; Correa HL; Corthals A; Espejo OJ. 2011. Forests and Drugs: Coca-Driven Deforestation in Tropical Biodiversity Hotspots. *Environmental Science & Technology* 45(4):1219–1227. Doi:10.1021/es102373d
- Dávalos LM; Holmes JS; Rodríguez N; Armenteras D. 2014. Demand for beef is unrelated to pasture expansion in northwestern Amazonia. *Biological Conservation* 170:64–73. Doi:10.1016/j.biocon.2013.12.018
- Etter A; McAlpine C; Pullar D; Possingham H. 2005. Modeling the age of tropical moist forest fragments in heavily-cleared lowland landscapes of Colombia. *Forest Ecology and Management* 208(1–3):249–260. Doi:10.1016/j.foreco.2004.12.008
- Etter A; McAlpine C; Phinn S; Pullar D; Possingham H. 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture Ecosystems & Environment* 114(2–4):369–386. Doi:10.1016/j.agee.2005.11.013
- Etter A; McAlpine C; Possingham H. 2008. Historical Patterns and Drivers of Landscape Change in Colombia Since 1500: A Regionalized Spatial Approach. *Annals of the Association of American Geographers* 98(1):2–23. Doi:10.1080/00045600701733911
- Harvey C; Medina A; Merlo D; Vilchez S; Hernández B; Sáenz J; Maes J; Casanoves F; Sinclair F. 2006. Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16(5):1986–1999. 14 p.
- Hernández M; Argel PJ; Ibrahim MA; Mannelje LT. 1995. Pasture production, diet selection and liveweight gains of cattle grazing *Brachiaria brizantha* with or without *Arachis pintoi* at two stocking rates in the Atlantic Zone of Costa Rica. *Tropical Grasslands* 29:134–141.
- Holmann F; Rivas L; Argel P; Pérez E. 2004. Impacto de la adopción de pastos *Brachiaria*: Centroamérica y México. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Documento de Trabajo No. 197. Cali, Colombia. 32 p.
- Ibrahim M. 2000. Agroforestería y sistemas de producción animal en América Central. En: Pomareda C; Steinfeld H. Intensificación de la ganadería en Centroamérica: Beneficios económicos y ambientales. CATIE–FAO–SIDE, San José, Costa Rica.
- Ibrahim M; Chacón M; Cuartas C; Naranjo J; Ponce G; Vega P; Casasola F; Rojas J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27–36.
- Ivory DA. 1990. Major characteristics, agronomic features and nutritional value of shrubs and tree fodders. In: Devendra C. (ed.). *Shrubs and Tree Fodders for Farm Animals*, Proceedings of a Workshop held in Denpasar, Indonesia, 24–29 July 1989. IDRC, Ottawa, Canadá. pp. 22–38.
- Jiménez JA. 2007. Diseño de sistemas de producción ganaderos sostenibles con base en los sistemas silvopastoriles (SSP) para mejorar la producción animal y lograr la sostenibilidad ambiental. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 122 p.
- López M. 2005. Procesos del fomento tecnológico de bancos de proteína de *Gliricidia sepium* en Rivas, Nicaragua: Resultados bioeconómicos y lecciones aprendidas para su difusión. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 92 p.

- López P; Delgado V. 2006. Evaluación de la rentabilidad del sistema de producción cacao-pimienta negra. XIX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2006. Villahermosa, Tabasco, México. 4 p.
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia). 2015. Disponible en <http://bit.ly/2yMPSnm>
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia). 2017. Visión Amazonía trabaja para llegar a cero deforestación en el 2020. Disponible en <http://bit.ly/2gzXLSQ>
- Mathew T; Kumar M; Suresh Babu V; Umamaheswaran K. 1992. Comparative performance of four multi-purpose trees associated with four grass species in the humid regions of South India. *Agroforestry Systems* 17:205–218.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe de síntesis (Borrador final). Un informe de la evaluación de los ecosistemas del milenio. Washington, DC: World Resources Institute (WRI), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 43 p.
- Mora J; Romero J; Zamora L. 2014. Viabilidad financiera de modelos de manejo de rumiantes en sistemas silvopastoriles con y sin suplementación estratégica. *Agroforestería Neotropical* 4(1):56–64.
- Murgueitio E; Ibrahim M; Ramírez E; Zapata A; Mejía C; Casasola F. 2003. Usos de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el Pago de Servicios Ambientales en el Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. CIPAV, Cali, Colombia. 2 Ed. 97 p.
- Murgueitio E; Calle Z; Uribe F; Calle A; Solorio B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261:1654–1663.
- Mutuo PK; Cadisch G; Albrecht A; Palm CA; Verchot L. 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71:43–54.
- Nair PK. 2004. Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. In: Hillel H; Rosenzweig C; Powlson D; Scow K; Singer M; Sparks D. (Eds). *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, Reino Unido. pp. 35–44.
- Ojeda PA; Restrepo J. 2003. Sistemas silvopastoriles, una opción para el manejo sustentable de la ganadería. Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia. 71 p.
- Orjuela J; Díaz A; Ramírez B. 2011. Selectividad animal en rastrojos de paisajes ganaderos de la Amazonia colombiana. En: Orjuela J; Suárez J. (Eds). *Valoración de rastrojos para la transformación de Sistemas Silvopastoriles en la Amazonia colombiana*. Universidad de la Amazonia. pp. 81–92.
- Otárola A. 2000. Cercas vivas. En: Méndez VE; Beer J; Faustino J; Otárola A. *Plantación de árboles en línea*. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal No. 1, 2ª ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. pp. 101–126.
- Pérez R; Lascano CE. 1992. Potencial de producción animal de asociaciones de gramíneas y leguminosas promisorias en el piedemonte de la Orinoquia Colombiana. *Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales–Sabananas* 1, 585–593.
- Peters M; Franco LH; Schmidt A; Hincapié B. 2011. Especies forrajeras multipropósito. Opciones para productores del trópico americano. 212 p. Disponible en <http://hdl.handle.net/10568/54681>
- Ramírez O; Somarriba E; Ludewigs T; Ferreira P. 2001. Financial returns, stability and risk of cacao-plantain-timber agroforestry systems in Central America. *Agroforestry Systems* 51:141–154.
- Razz R; Clavero T. 2006. Cambios en las características químicas de suelos en un banco de *Leucaena leucocephala* y en un monocultivo de *Brachiaria brizantha*. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 23:326–331.
- Romero F; Abarca S; Orado L; Tobón J; Kass M; Pezo D. 1993. Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con poro (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Costa Rica. En: Westley S; Powell M. (Eds). *Erythrina in the new and old worlds*. Paia, Hawaii, Estados Unidos. NFTA. pp. 223–239.

- Sánchez LJ. 2007. Caracterización de la mano de obra en fincas ganaderas y rentabilidad de bancos forrajeros en Esparza, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 97 p.
- Sánchez D. 2014. Tipificación y rentabilidad financiera de los sistemas productivos con arreglos agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el Bajo Caguán, Cartagena del Chairá. Tesis Mag. Universidad de la Amazonia. Florencia, Caquetá. 101 p.
- Sánchez-Cuervo AM; Aide TM. 2013. Consequences of the Armed Conflict, Forced Human Displacement, and Land Abandonment on Forest Cover Change in Colombia: A Multi-scaled Analysis. *Ecosystems* 16(6):1052–1070. Doi:10.1007/s10021-013-9667-y
- Sotelo M; Gutiérrez JF; Hincapié B; Arango J. 2017. La base de la ganadería sostenible. Los sistemas silvopastoriles son una de las estrategias para frenar la expansión de la frontera agropecuaria y disminuir la tasa de deforestación en los bosques a nivel mundial. *Revista Productor Agropecuario* 72:60–62.
- Suárez J. 2009. Análisis de rentabilidad en los sistemas tradicionales de producción y la incorporación de los sistemas silvopastoriles en fincas de doble propósito, Matagalpa – Nicaragua. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 102 p.
- Suárez SJC; Orjuela CJA. 2011. Composición química y valor nutritivo de especies con alto potencial forrajero en áreas de rastrojos en el piedemonte amazónico. En: Orjuela CJA; Suárez SJC. (Eds). Valoración de rastrojos para la formación de sistemas silvopastoriles en la Amazonia colombiana. Universidad de la Amazonia. pp 93–102.
- Szott L; Ibrahim M; Beer J. 2000. The hamburger connection hangover: cattle pasture land degradation and alternative land use in Central America. (Serie técnica. Informe Técnico No. 313). CATIE. Turrialba, Costa Rica. 71 p.
- Uribe F; Zuluaga AF; Valencia L; Murgueitio E; Zapata A; Solarte L; et al. 2011. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, Banco Mundial, Fedegan, CIPAV, Fondo Acción, The Nature Conservancy. Bogotá, Colombia. 78 p.
- Van Ausdal S. 2009. Potreros, ganancias y poder. Una historia ambiental de la ganadería en Colombia, 1850–1950. *Historia Crítica* 126–149.
- Viña A; Cavellier J. 1999. Deforestation rates (1938–1988) of tropical lowland forests on the Andean foothills of Colombia. *Biotropica* 31(1):31-36. Doi:10.1111/j.1744-7429.1999.tb00114.x
- Viña A; Echavarría FR; Rundquist DC. 2004. Satellite change detection analysis of deforestation rates and patterns along the Colombia-Ecuador border. *Ambio* 33(3):118–125. Doi:10.1639/0044-7447(2004)033[0118:scdaod]2.0.co;2
- Wassenaar T; Gerber P; Verburg PH; Rosales M; Ibrahim M; Steinfeld H. 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: the geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change* 17(1):86–104.

| | |
|-----------------------|------------------------------------------|
| Diseño | Daniel Gutiérrez y Ximena Hiles, CIAT |
| Diagramación | Ximena Hiles, CIAT |
| Edición de producción | Victoria Rengifo, CIAT |
| Impresión | Velásquez Digital S.A.S., Cali, Colombia |

Octubre 2017



ISBN: 978-958-694-171-6



9 789586 941716