



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



agri benchmark



**SISTEMAS SILVOPASTORILES
Y SU CONTRIBUCIÓN AL USO EFICIENTE DE LOS RECURSOS
Y A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE:
Evidencia desde América Latina**

Global Agenda for Sustainable Livestock



Sistemas silvopastoriles y su contribución al uso eficiente de los recursos y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Evidencia desde América Latina

Publicado por
Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV
La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Agri Benchmark

Cita recomendada

Chará J., Reyes E., Peri P., Otte J., Arce E., Schneider F. 2020. Sistemas silvopastoriles y su contribución al uso eficiente de los recursos y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Evidencia desde América Latina. CIPAV, FAO & Agri Benchmark, Editorial CIPAV, Cali, 60 pp.

Licencia: CC BY-NC-SA 3.0

Este trabajo fue publicado originalmente en Inglés por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como *Silvopastoral Systems and their Contribution to Improved Resource Use and Sustainable Development Goals: Evidence from Latin America*. La traducción al Español fue coordinada por CIPAV. En caso de discrepancias, prevalecerá la versión en el idioma original.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de CIPAV, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o Agri Benchmark, juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que CIPAV, la FAO o Agri Benchmark los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo corresponden a los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de CIPAV, la FAO o Agri Benchmark.

ISBN 978-958-9386-94-1 CIPAV

E-ISBN 978-958-9386-97-2 CIPAV

ISBN 978-92-5-132937-5 FAO

© CIPAV y FAO, 2020



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-No-Comercial-CompartirIguual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica más arriba. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que CIPAV, la FAO o Agri Benchmark refrendan una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons.

Toda mediación relativa a las controversias que se deriven con respecto a la licencia se llevará a cabo de conformidad con las Reglas de Mediación de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI) en vigor.

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licencerequest. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Contenido

Prólogo	V
Agradecimientos	VIII
Acrónimos	IX
Resumen	X
Introducción	1
Generalidades de los SSP	5
Distribución geográfica	6
Beneficios de los SSP	7
Contribución de los SSP a los ODS	11
Estudios de caso de adopción de SSP en América Latina	13
Métodos y métricas	18
Resultados	19
Conclusiones y recomendaciones	25
Factores que afectan el impacto y la adopción de SSP	25
Alcance de la adopción de SSP en América Latina	27
Recomendaciones para apoyar la adopción de SSP	30
Necesidades de investigación	31
Referencias	35
Anexos	41
Anexo 1: Métodos y métricas	41
Anexo 2: Cambios en los principales indicadores en el tiempo	42



Prólogo

La producción animal es primordial para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y puede contribuir directa o indirectamente a la mayoría de ellos. Las contribuciones más importantes de la producción animal a los ODS se dan en tres dominios: (i) Alimentos, seguridad alimentaria y subsistencia; (ii) Salud humana (enfermedades contagiosas y no contagiosas); y (iii) Sostenibilidad ecosistémica y cambio climático.

Sin embargo, la sostenibilidad del sector solo puede mejorarse efectivamente a través de acciones concertadas por todos los actores interesados. Dada la naturaleza pública de los retos ambientales, sociales y económicos, y su creciente integración económica, es esencial la acción global colectiva.

La Agenda Global de Ganadería Sostenible (GASL por sus siglas en inglés), establecida en 2011, es un mecanismo de cooperación de múltiples organizaciones con el ánimo de fomentar y guiar el desarrollo sostenible de la actividad pecuaria global, según lo estipulado en los ODS de la Agenda de las Naciones Unidas para 2030. Este mecanismo provee una plataforma para dirigir de una manera integral los múltiples desafíos del sector hacia el desarrollo sostenible, mediante la facilitación del diálogo global, la promoción de prácticas locales y cambio de políticas, concentrándose en la innovación, la construcción de capacidades, sistemas de incentivos y habilitación de entornos.

Los logros de la Agenda Global han probado que las plataformas multiactores son un poderoso enfoque de cooperación para apoyar la implementación de los ODS en asuntos relacionados con la actividad pecuaria y las cuatro prioridades acordadas por el Foro Global para la Alimentación y Agricultura (GFFA) en 2018: alimentos y seguridad alimentaria, medios de vida y crecimiento económico, salud y bienestar animal, y clima y uso de recursos naturales.

Por lo tanto, el enfoque estratégico en la Agenda Global ha evolucionado desde la primera fase donde los siete conglomerados de actores fueron el centro de atención para consolidar la visión multiactorial, hacia una situación donde las redes de acción han sido priorizadas para apoyar la producción de conocimiento, impactos piloto y prácticos a escala local. Las redes de acción son iniciativas técnicas específicas con las cuales la Agenda Global hace enlace para apoyar aspectos concretos de la producción pecuaria sostenible.





Como parte de la Agenda Global, la Red Global de Sistemas Silvopastoriles promueve el escalamiento de los sistemas silvopastoriles (SSP) en el mundo. A nivel global existen muchos ejemplos de SSP que contribuyen a la producción ganadera sostenible mediante la reducción del impacto sobre los recursos naturales, el incremento de la eficiencia productiva y la rentabilidad, la mejora de la seguridad alimentaria y el bienestar animal, y la contribución a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Este documento representa el esfuerzo conjunto entre dos redes de acción de la Agenda Global: (i) Cerrando la brecha de la eficiencia y (ii) la Red Global de Sistemas Silvopastoriles. Un marco de referencia para evaluar el uso de los recursos naturales es aplicado a una variedad de modelos de producción silvopastoril para determinar su productividad y sus beneficios socioeconómicos y ambientales. Se presenta una visión general de los SSP, sus principales características y ventajas en términos productivos, ambientales y climáticos, y su contribución a los ODS, describiendo los resultados de diez estudios de caso de adopción de sistemas silvopastoriles en diversos contextos en Colombia, México, y Argentina, concentrándose en la productividad de la tierra, la producción de carne y leche, y el desempeño económico a nivel de finca. Basados en los resultados, se presentan recomendaciones de política pública que sirvan para el escalamiento y promoción de los SSP en Latinoamérica y otras regiones.

En vista de que todas las historias exitosas incluyen un fuerte componente de desarrollo de políticas, los programas han sido exitosos solo cuando se tienen políticas públicas direccionadas, que permitan vincular a los productores de pequeña escala con los insumos, mercados y construcción de capacidades.

Felicito a los líderes de estas iniciativas por mostrar el importante rol de los sistemas silvopastoriles para el cumplimiento de los ODS.

Fritz Schneider
Coordinador
Agenda Global de Ganadería Sostenible

Agradecimientos

Esta publicación es el resultado de la colaboración entre dos Redes de Acción de la Agenda Global para la Producción Pecuaria Sostenible. Cerrando la brecha de eficiencia y la Red Global de Sistemas Silvopastoriles (RGSSP).

Este reporte fue preparado por Julián Chará (CIPAV), Ernesto Reyes (*agri benchmark*), Pablo Peri (INTA), Joachim Otte (BEAR), Fritz Schneider (GASL) y Eduardo Arce (GASL), y se benefició ampliamente de los comentarios de dos miembros del clúster académico de GASL; Liz Wedderburn (AgResearch) y Rogeiro Martins Mauricio (UFSJ).

Los autores agradecen al proyecto *Ganadería Colombiana Sostenible*, FEDEGAN y el Comité de Ganaderos del Caquetá en Colombia, la Fundación Produce Michoacán en México, el INTA y el CREA de Argentina, y World Animal Protection del Reino Unido por todo el apoyo para llevar a cabo los estudios y a las siguientes personas por el aporte de información fundamental para llevar a cabo los análisis: Juan José Molina, José Manuel Gómez, Luis Solarte, Leonardo Manzano, Fernando Uribe, Enrique Murgueitio y Gonzalo Villegas en Colombia; Martha Xochitl Flores, Carlos Sánchez y Ulises Villagómez en México; Jorge Esquivel, Luis Colcombet, Hugo Fassola, Belén Rossner, Germán Kimmich, Paola González y Patricia Egolf en Argentina; y los propietarios de las fincas La Luisa, Petequí, Reserva Natural El Hatico, Asturias, Pinzaca, y Villa Mery en Colombia; Los Huarinches y Chandío en México; y El Molino, La Pendiente y Plantaciones Tabay de Coulon S.A. en Argentina.

Los autores agradecen también a José Antonio Riascos por su contribución al diseño gráfico y diagramación de la obra y a Alejandro Montoya por la traducción al español.

El proyecto *Ganadería Colombiana Sostenible* fue financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) y el Gobierno del Reino Unido, administrado por el Banco Mundial y ejecutado por FEDEGAN, CIPAV, The Nature Conservancy y el Fondo Acción, con participación de los Ministerios de Ambiente y Agricultura de Colombia. El proyecto aportó información productiva, económica y ambiental, y cuatro de las fincas estudiadas participaron en el proyecto.

El *Thünen Institute of Farm Economics* localizado en Braunschweig, Alemania, y representado por el Dr. Claus Deblitz, coordina varios temas de la Red *agri benchmark*, entre ellas la de carne y ovinos. Los métodos, herramientas y datos dentro de *agri benchmark* se pusieron a disposición de esta investigación al igual que el análisis de cambio, que es conducido con una cooperación estrecha con productores, asistentes técnicos y expertos locales.

Acrónimos

CH ₄ .	Metano
CIAT.	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIPAV.	Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria
CO ₂ .	Dióxido de carbono
CO ₂ eq.	Equivalente de dióxido de carbono
CREA.	Consortio Regional de Experimentación Agropecuaria
ECDBC.	Estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono
FAO.	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FDA.	Fibra detergente ácida
FDN.	Fibra detergente neutra
FEDEGAN.	Federación Colombiana de Ganaderos
GASL.	Agenda Global de Ganadería Sostenible
GEF.	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GFFA.	Foro Global para Alimentación y Agricultura
GEI.	Gases de efecto invernadero
HA.	Hectárea
INTA.	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina
LCE.	Leche corregida por energía
LCGP.	Leche corregida por grasa y proteína
MS.	Materia seca
Mg.	Mega gramo
N ₂ .	Nitrógeno
N ₂ O.	Óxido nitroso
ODS.	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU.	Organización de las Naciones Unidas
PSA.	Pago por servicios ambientales
PV.	Peso vivo
RGSSP.	Red Global de Sistemas Silvopastoriles
SSP.	Sistema silvopastoril
SSPi.	Sistema silvopastoril intensivo

Resumen

En 2015, los 193 Estados Miembro de las Naciones Unidas adoptaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un conjunto de 17 objetivos aspiracionales que esperan guiar el desarrollo de las acciones de los gobiernos, agencias internacionales, sociedad civil y otras instituciones durante 15 años (2016-2030). Ellos integran las tres dimensiones del desarrollo sostenible -económico, social y ambiental- dependen mutuamente el uno del otro y forman un “todo indivisible”.

La producción pecuaria es central a muchos de los ODS y puede contribuir directa o indirectamente a muchos de ellos. La Agenda Global de Ganadería Sostenible (GASL por sus siglas en inglés) es una alianza del sector pecuario para apoyar el desarrollo sostenible del sector y alinearlo con el marco de referencia de los ODS. Como parte de la Agenda Global, la Red Global de Sistemas Silvopastoriles promueve el escalamiento de los sistemas silvopastoriles a nivel global para apoyar la producción ganadera sostenible.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son arreglos agroforestales que combinan intencionalmente plantas forrajeras, como los pastos y hierbas leguminosas, con arbustos y árboles para la nutrición animal y usos complementarios. Ellos permiten la intensificación de la producción ganadera basada en procesos naturales y son reconocidos como un acercamiento integral al uso sostenible de la tierra. Los SSP promueven interacciones ecológicas benéficas que se manifiestan por sí solas en un incremento en la producción por unidad de área, aumento de la eficiencia en el uso de recursos y mejora en la provisión de servicios ambientales.

América Latina ha experimentado ampliamente con los SSP como una opción para la producción ganadera sostenible, y la mayoría de países de esta región han acumulado importante experiencia en la adopción y adaptación de los SSP a las circunstancias locales.

Se aplicó un marco analítico para evaluar la eficiencia en el uso de los recursos naturales en una variedad de modelos de producción silvopastoril para determinar su productividad, así como sus beneficios socioeconómicos y ambientales. Se presentan los resultados de diez casos de Argentina, Colombia y México, que cubren periodos de diez o más años, para demostrar los impactos de la adopción de SSP. Los estudios de caso se seleccionaron intencionalmente para ilustrar la adopción de diferentes tipos de SSP bajo una variedad de condiciones agroecológicas y sistemas de producción, y con el objetivo de abordar diferentes desafíos de sostenibilidad.



Durante el periodo del estudio, cuatro de las diez fincas convirtieron todo su terreno a SSP mientras que las otras seis fincas convirtieron entre el 40 % y 70 %. La producción de forraje por hectárea se incrementó en nueve de las diez fincas de 12 % a 733 % dependiendo de la condición inicial de las pasturas y de la proporción del terreno convertida. En una finca, la producción de forraje por hectárea decreció, debido a la cancelación total del uso de fertilizante, el cual había sido excepcionalmente alto antes de la adopción del SSP. La producción de leche /carne por ha se incrementó considerablemente en las diez fincas, debido a los efectos combinados de las altas cargas animales y mejora en la producción individual. Como resultado, los GEI por 100 kg de leche o peso vivo ganado declinaron en todas las fincas a medida que los SSP fueron establecidos. El bienestar animal fue mayor que en las fincas testigo. En uno de los casos, en donde se evaluó el impacto del SSP en la biodiversidad, se presentó un incremento de tres veces en aves, 60% en conteo de hormigas y un doble del número de escarabajos estercoleros comparado con los valores de la línea base.

En todos los casos, al final del periodo de análisis, los ingresos de la finca fueron mayores que los costos, y seis de las ocho fincas en las cuales no se incluyeron especies forestales, lograron una ganancia anual de 1500 dólares o más. Desde el punto de vista del flujo de caja, el primer periodo de inversión, con frecuencia generó un flujo de caja negativo, lo que debe tenerse en cuenta para la financiación de la inversión de los SSP.

Los estudios de caso proveen evidencia sólida de que los SSP entregan simultáneamente ganancias en productividad y rentabilidad, mejoras ambientales y beneficios de bienestar animal, y en consecuencia aportan a varios ODS. A pesar de estos beneficios, los SSP no han sido ampliamente implementados, debido a una variedad de barreras técnicas, financieras y culturales. Estas incluyen la ausencia de asistencia técnica a los productores para adaptar el sistema a las condiciones locales específicas, la complejidad técnica del manejo de los SSP, y el alto requerimiento de inversión inicial.

Las políticas nacionales deberían apoyar la adopción de SSP mediante la provisión de líneas de crédito e incentivos específicos tales como el pago por servicios ambientales. Además, para incrementar la adopción de SSP se requieren políticas que promuevan el entrenamiento especializado para los extensionistas y técnicos en todos los aspectos de los SSP. Las alianzas público-privadas, lideradas por organizaciones ganaderas fuertes, han probado ser cruciales en la superación de las complejidades técnicas, permitiendo la adopción exitosa de SSP por un número importante de productores. Finalmente, es esencial evaluar las implicaciones económicas, ambientales y de bienestar animal de la adopción de los SSP para más arreglos, escalas, y condiciones agroecológicas, a fin de formular estrategias silvopastoriles a la medida de las condiciones específicas de cada región o localidad.





Introducción

En 2015, los 193 Estados Miembro de las Naciones Unidas adoptaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un conjunto de 17 objetivos aspiracionales (Figura 1) y 169 metas que esperan guiar las acciones de desarrollo de gobiernos, agencias internacionales, sociedad civil y otras instituciones durante 15 años (2016-2030). Los ODS de la Agenda para el Desarrollo Sostenible de la ONU 2030 reemplazaron a los Objetivos de Desarrollo del Milenio y se han convertido en los objetivos universalmente aceptados y aplicados por todos los países. Ellos integran las tres dimensiones del desarrollo sostenible –económico, social y ambiental- dependen mutuamente el uno del otro y forman un “todo indivisible”.

Figura 1 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas





La actividad pecuaria es central a muchos de los ODS y puede contribuir directamente o indirectamente a la mayoría de ellos. Para muchos de los objetivos, la actividad pecuaria puede hacer contribuciones positivas y negativas. Además, existen sinergias y competencia entre los objetivos. Por ejemplo, el fuerte crecimiento en la demanda de productos pecuarios en los países en desarrollo, inducida por el crecimiento de la población, los mayores ingresos, y la urbanización, representa una gran oportunidad para reducir la pobreza (ODS 1), al permitir que cientos de millones de pequeños productores pobres, procesadores y agentes del mercado puedan cubrir esta demanda del mercado. De otro lado, algunas formas de la producción pecuaria se basan, en gran medida, en recursos naturales, y el crecimiento del sector puede acelerar significativamente el agotamiento de los recursos y la contaminación ambiental, afectando de este modo el cumplimiento de los ODS 14 y 15.

Las principales contribuciones potenciales, tanto positivas como negativas, al logro de los ODS tienen relación con los siguientes tres dominios: (i) Seguridad alimentaria y medios de vida; (ii) Salud humana (enfermedades transmisibles y no transmisibles); y (iii) Sostenibilidad ecosistémica y cambio climático. Alrededor del mundo se practican diferentes formas de la producción pecuaria, cada una con un perfil de impacto específico sobre los tres dominios.

La Agenda Global para la Ganadería Sostenible es una alianza de actores del sector pecuario comprometidos en promover el desarrollo sostenible del sector y alinear la producción pecuaria con los ODS. Con una población global proyectada de 9 600 millones de habitantes en 2050, el rol del sector pecuario en la sostenibilidad alimentaria y de la agricultura continuará en incremento. Para ser sostenible, el crecimiento de la actividad pecuaria necesita abordar simultáneamente desafíos ambientales, sociales y económicos claves: mayor escasez y competencia por los recursos naturales, cambio climático, pobreza e inseguridad alimentaria extendidas, y amenazas persistentes y emergentes para la salud animal y humana.

Como parte de la Agenda Global, la Red Global de Sistemas Silvopastoriles promueve el escalamiento de estos sistemas a nivel global para apoyar la ganadería sostenible, a través de la generación, intercambio y diseminación del conocimiento, la documentación de políticas públicas y la facilitación del diálogo.

Existe una gran variedad de sistemas silvopastoriles alrededor del mundo que contribuyen al desarrollo sostenible de la producción ganadera y a los medios de vida rurales. Los sistemas silvopastoriles proveen opciones tecnológicas, económicas, ambientales, y culturales para el apoyo a los medios de vida y actividades comerciales relacionadas con la ganadería sostenible. Todos estos son coincidentes con los objetivos de la Agenda Global y con su apoyo a los ODS.

Este reporte presenta una revisión de las principales características de los SSP, sus beneficios con respecto a la producción, el ambiente y el clima, y su contribución a los ODS. También describe su distribución geográfica y los arreglos silvopastoriles más importantes en América Latina. Posteriormente, se presentan los resultados de diez estudios de caso sobre la adopción de SSP en contextos diversos en Colombia, México y Argentina, con especial énfasis en la productividad de la tierra, la producción de carne y leche, y el desempeño económico a escala de finca. Finalmente, basados en los hallazgos, se realizan una serie de recomendaciones orientadas al escalamiento y promoción de los SSP en América Latina y otras regiones.



Generalidades de los SSP

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son arreglos agroforestales que combinan intencionalmente plantas forrajeras, tales como pastos y hierbas leguminosas, con arbustos y árboles para la nutrición animal y usos complementarios. (Murgueitio *et al.* 2011). Permiten la intensificación de la producción ganadera basada en procesos naturales y son reconocidos como una forma de uso sostenible del suelo (Nair *et al.* 2009). Los SSP promueven interacciones ecológicas benéficas que pueden manifestarse por sí mismas a través del incremento en la producción por unidad de área, la mejora en la eficiencia en el uso de recursos y en la provisión de servicios ambientales. Como resultado, los ingresos de la finca pueden incrementarse o diversificarse, directamente por incrementos en las ventas de madera, animales y productos animales, e indirectamente por los efectos benéficos de conservación de suelo, provisión de refugio para el ganado y mejora del bienestar animal. Por lo tanto, estos sistemas pueden ser más productivos, rentables y sostenibles que el cultivo forestal especializado o la producción animal por sí solos (Jose 2009, Peri *et al.* 2016).

Los principales SSP incluyen: i) árboles dispersos en potreros; ii) plantaciones de maderables con áreas de pastoreo para el ganado; iii) pasturas entre callejones de árboles, barreras rompevientos, cercas vivas, bancos de forraje con arbustos; y iv) sistemas silvopastoriles intensivos (Murgueitio *et al.* 2015, Chará *et al.* 2017). Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) combinan una alta densidad de arbustos cultivados (4 000–40 000 plantas ha⁻¹) con pastos mejorados y especies de árboles o palmas en densidades de 100–600 árboles ha⁻¹. Estos sistemas son manejados bajo rotación de pasturas con periodos de ocupación de 12-24 horas y 40 a 50 días de periodo de descanso, incluyendo la provisión *ad libitum* de agua limpia y sal mineralizada en cada potrero (Calle *et al.* 2012, Murgueitio *et al.* 2016).

Distribución geográfica

Los SSP se encuentran a nivel global, bien sea implementados intencionalmente por los productores en diferentes arreglos o como un resultado de una adaptación y manejo de ecosistemas naturales para proveer refugio y servicios como, por ejemplo, en los ecosistemas de Dehesa y Montado en la península ibérica, el Chaco en Suramérica y varias áreas de África y Asia (Ferraz-de-Oliveira 2016, Kunst *et al.* 2016, Le Houerou 1987, Soni *et al.* 2016). En Europa y Norteamérica existe un interés creciente en la introducción de los árboles y arbustos, ya sea en sistemas integrados para producir madera, frutas o nueces en sistemas de cultivos en callejones, como barreras rompevientos o para proveer nutrientes extra para el ganado mediante el ramoneo directo o a través del corte y suministro del follaje (Orefice *et al.* 2017, McAdam 2005, Vandermeulen *et al.* 2018, Papanastasis *et al.* 2009). En Australia, los productores han desarrollado un sistema donde la leucaena es cultivada a una alta densidad integrada con pastos (Shelton y Dalzell 2007).

En América Latina, los productores han desarrollado una gran variedad de SSP empezando desde bancos de forraje de pequeña escala para corte y acarreo (pasando por cercas vivas en Mesoamérica y los Andes o por regeneración natural de árboles nativos a lo largo de la región) hasta grandes áreas comerciales con SSPI en México y Colombia, producción de madera-carne en Argentina, Paraguay y Uruguay o sistemas integrados de agricultura-ganado-bosques en Brasil, entre muchos otros (Murgueitio *et al.* 2016, Somarriba *et al.* 2018, Peri *et al.* 2016, Nunes *et al.* 2010).

En Colombia, el proyecto *Ganadería Colombiana Sostenible* junto con otras iniciativas, promovió el establecimiento de SSP en cinco regiones del país. Los sistemas incluyen cercas vivas, árboles dispersos en potreros, bancos forrajeros y sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y *Tithonia diversifolia* (Murgueitio *et al.* 2015). Los SSPI con *L. leucocephala* también han sido promovidos en México donde más de 10 mil hectáreas han sido plantadas en la última década, involucrando 1.800 fincas (carne y leche) bajo la supervisión técnica de la Fundación Produce Michoacán (Solorio *et al.* 2012).

Los SSP también se han convertido en una alternativa económica, ecológica y productiva en Argentina donde se combinan especies de árboles exóticos o bosques nativos manejados con sistemas ganaderos lo que permite la producción de árboles y ganado en la misma unidad de área (Peri *et al.* 2016). La diferencia en condiciones en la parte sur de Suramérica (geografía, clima, cultura y mercados) ha estimulado el desarrollo de diferentes sistemas silvopastoriles en la región. Por ejemplo, en las provincias argentinas de Corrientes y Misiones (región Mesopotamia), los productores han adoptado SSP con alta producción de pinos y pastos C₄ como una alternativa para diversificar e incrementar la rentabilidad en comparación con la ganadería tradicional y los cultivos forestales (Colcombet *et al.* 2015).

Beneficios de los SSP

Los principales beneficios de los sistemas silvopastoriles, cuando se comparan con las pasturas sin árboles son:

- i) Incremento de la producción de forrajes de mayor calidad, lo cual reduce la necesidad de suplementación con fuentes externas (Mojardino *et al.* 2010, Barahona *et al.* 2014);
- ii) Incremento (hasta 4 veces más) de la producción ganadera por ha (Thornton y Herrero 2010);
- iii) Mayor captura de carbono en la biomasa aérea y en el suelo (Nair *et al.* 2010, Montagnini *et al.* 2013);
- iv) Mejoramiento de las propiedades del suelo, debido al incremento en la absorción de nutrientes de las capas profundas del suelo, mejor disponibilidad de nutrientes de la hojarasca e incremento en el aporte de nitrógeno por los árboles fijadores de N₂ (Nair *et al.* 2007, Vallejo *et al.* 2010, Cubillos *et al.* 2016);
- v) Mejor resiliencia del suelo a la degradación, pérdida de nutrientes y cambio climático (Ibrahim *et al.* 2010, Harvey *et al.* 2013, Murgueitio *et al.* 2013);
- vi) Mejor retención de agua y capacidad de infiltración del suelo, lo cual contribuye a la regulación del ciclo hidrológico mediante la reducción de la intensidad de escorrentía (Jose 2009, Ríos *et al.* 2007);
- vii) Hábitats de mayor biodiversidad (Nair *et al.* 2010, Sáenz *et al.* 2007, Giraldo *et al.* 2011, Montoya-Molina *et al.* 2016); y
- viii) Mejor bienestar animal (Broom *et al.* 2013).



SSPi en Reserva Natural El Hatice, Valle del Cauca, Colombia. Foto M. Kohut-WAP.

Biomasa y producción ganadera: los SSP producen más materia seca, energía digestible y proteína cruda por hectárea que los sistemas basados puramente en gramíneas y, por esta razón, pueden incrementar la producción de leche y carne mientras se reduce la necesidad de insumos externos como fertilizantes químicos y alimentos concentrados (Murgueitio *et al.* 2011, Ribeiro *et al.* 2016). En SSPi establecidos en el Caribe Seco de Colombia, la producción de biomasa, incluyendo pastos y leucaena, osciló entre 15.6 y 19.2 Mg de materia seca (MS) ha⁻¹ año⁻¹ y la producción de proteína entre 2.86 a 3.12 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Chará *et al.* 2017). En la misma región la producción de MS en pasturas degradadas es de 7 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en promedio (Cajas-Girón *et al.* 2011). En México la producción de materia seca en tres fincas con SSPi basados en leucaena varió entre 3.62 y 4.79 Mg ha⁻¹ por rotación, más de tres veces superior a la de fincas adyacentes con un monocultivo de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* K. Schum.) (Solorio-Sánchez *et al.* 2011). En el Noreste de Argentina, en SSP con *Grevillea* (árbol maderable) y pasto *Urochloa* se logró triplicar la capacidad de carga en comparación con pasturas abiertas adyacentes (Lacorte y Esquivel 2009, Colcombet *et al.* 2015). En la misma región, el pasto *Axonopus catarinensis* usado en SSP produjo 42% más biomasa y tuvo mayor contenido de proteína bajo sombra (reducción del 38% en la radiación fotosintéticamente activa) que a plena exposición (Pachas 2010). En la Patagonia (Argentina), los SSP incrementaron la productividad de las pasturas en un 20-35% en relación con la mezcla de pastos mejorados sin árboles (Peri *et al.* 2005). Además de la alta producción y disponibilidad de biomasa para el ganado, la calidad de esta biomasa también se mejora, pues los arbustos forrajeros incorporados en los SSP contienen al menos tres veces más proteína que los pastos tropicales (18-30% en arbustos vs. 4-12% en pastos) y tienen un bajo contenido de fibra con valores por debajo de 41% de fibra detergente neutra (FDN) y 21% de fibra detergente ácida (FDA) (Murgueitio *et al.* 2015).

Debido a las características anteriores, en los SSPi la producción de carne o leche por animal y por ha se incrementa. En un SSPi en Colombia con leucaena, pasto estrella y árboles maderables, la cantidad de carne producida se incrementó de 74 kg (peso vivo) ha⁻¹ año⁻¹ a 1060 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Mahecha *et al.* 2011). Resultados similares fueron obtenidos en México donde la producción de carne se incrementó de 456 kg ha⁻¹ año⁻¹ en pasturas mejoradas a 1971 kg en un SSP con *L. leucocephala* (Solorio-Sánchez *et al.* 2011). De manera similar, Thornton y Herrero (2010) estimaron un aumento de 2.7 y 4.8 veces en la producción de leche y carne respectivamente, cuando se incorporó leucaena en la dieta, con una reducción en la cantidad de GEI por unidad de producto.

En los SSPi con *T. diversifolia* en la región amazónica de Colombia, Rivera *et al.* (2015) encontraron un incremento del 44 % en la producción de biomasa del forraje y 58 % en la producción de leche por ha como resultado de una mayor capacidad de carga y producción individual comparada con pasturas de *Urochloa-Brachiaria* sin árboles. La calidad de la leche también fue mejorada pues en el SSPi se incrementó la producción de proteína, grasa y sólidos totales en 29, 33 y 36% respectivamente.

Captura de carbono y emisiones de GEI: la incorporación de árboles en cultivos y pasturas resulta en mayor captura de carbono neta en la biomasa aérea y el suelo (Montagnini y Nair 2004). Se estima que el potencial de secuestro de carbono de sistemas agroforestales oscila entre 0.29 a 15.21 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en la biomasa aérea y entre 30 a 300 Mg ha⁻¹ en el suelo hasta 1m de profundidad (Nair et al. 2009, Nair 2011). Para los SSP se estima que el potencial de secuestro de carbono oscila entre 1.5 (Ibrahim et al. 2010) y 6.55 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Kumar et al. 1998). En Queensland, Australia, Radrizzani et al. (2011) encontraron que los SSP con leucaena acumularon entre 79 y 267 kg ha⁻¹ año⁻¹ más que en parcelas de pasturas puras adyacentes. En la región Argentina de la Patagonia, se estimó una captura de 148.4 Mg C ha⁻¹ en SSP, de los cuales aproximadamente el 85% fue almacenado en el suelo, 7% en biomasa por debajo del suelo (raíces de árboles y arbustos) y 8% en la biomasa aérea. La biomasa subterránea representa entonces un importante reservorio de carbono en el ecosistema (Peri et al. 2017a).

Las emisiones de GEI por unidad de producto animal son reducidas en los SSP como resultado de una mayor eficiencia en la producción (menor edad al primer parto, intervalo entre partos más corto, mayores ganancias de peso y mayor producción de leche) y mejoramiento en la composición de la dieta. Como resultado de la mejor calidad nutricional en las dietas en SSP, se reduce la cantidad de CH₄ emitido por kg de materia seca consumida (y por kg de producto) (Barahona et al. 2014). Thornton y Herrero (2010) modelaron medidas potenciales para reducir las emisiones de GEI en el trópico y encontraron que se pueden reducir las emisiones por unidad de leche y carne un 57% y 73%, respectivamente, cuando los concentrados y parte de la dieta base se remplazan por follaje de *L. leucocephala*.

Biodiversidad y calidad del suelo: la presencia de arbustos y árboles en SSP genera efectos probados sobre la biodiversidad gracias a que contribuyen a crear hábitats más complejos para los animales y plantas silvestres (Harvey et al. 2006, Moreno y Pulido 2009), albergan una biota más rica en el suelo (Rivera et al. 2013, Montoya-Molina et al. 2016) e incrementan la conectividad entre fragmentos de bosque (Rice y Greenberg 2004). En paisajes agropecuarios, los SSP proveen alimento y refugio para las aves, y sirven como corredores para la vida silvestre donde se pueden encontrar ensamblajes únicos de especies (McAdam et al. 2005, Murgueitio et al. 2011, Broom et al. 2013). En la región del Quindío, Colombia, las áreas con SSP tuvieron tres veces más especies de aves que las áreas de pasturas sin árboles (Fajardo et al. 2010). En la Patagonia Argentina fue encontrado que la abundancia relativa y riqueza de aves, insectos y plantas vasculares de sotobosque se incrementó en los SSP, debido al enriquecimiento del hábitat con árboles de diferentes edades, y estructuras como árboles muertos y troncos caídos (Peri et al. 2017b).

Una biodiversidad alta en las áreas de producción y sus alrededores también contribuye a proveer servicios ambientales importantes para la finca como polinización, control de plagas y regulación del agua. En relación al control de plagas, Giraldo *et al.* (2011) encontraron una reducción en el número de larvas de mosca de los cuernos en áreas con SSP, debido al incremento de la actividad de escarabajos estercoleros. En Brasil, se encontró que cepas de hongos aislados de SSP fueron muy efectivas en el control de fases inmaduras del chupador del pasto o salivazo (*Mahanarva spectabilis*), una de las mayores plagas de pastos forrajeros a lo largo de la América tropical (Campagnani *et al.* 2017).

Varios estudios han demostrado efectos de los SSP en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Los arbustos y árboles en los SSP adicionan capas de vegetación capaces de transformar la energía solar en biomasa, lo cual incluye la formación de raíces que penetran hasta capas más profundas del suelo, desde donde extraen nutrientes y agua (Nair 2011, Chará *et al.* 2015). El mayor número de estratos genera también biomasa más abundante y heterogénea que es depositada en el suelo en forma de hojas, ramas, frutos, resinas y exudados con efectos importantes sobre los nutrientes, la materia orgánica y la biota (Vallejo *et al.* 2012). Estos beneficios son complementados por el efecto de los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno y otras asociaciones entre los árboles y microorganismos que incrementan la disponibilidad de nutrientes vitales para la producción de biomasa (Malchair *et al.* 2010).

En el suroeste de Colombia, Vallejo *et al.* (2010) encontraron que los suelos bajo SSP tuvieron un mayor porcentaje de macro- y micro-poros, menor densidad aparente (<1.4 vs. 1.52 g-cc⁻³) y menor resistencia a la penetración (<3.3 vs. 3.98 MPa) que suelos bajo monocultivos de pasturas. Estas características están asociadas con el mejoramiento de la retención de agua y reducción de la escorrentía. En estudios llevados a cabo en Costa Rica y Nicaragua, en pasturas sin árboles, la escorrentía fue equivalente al 28-48% de la precipitación mientras que en los SSP fue menor al 10% (Ríos *et al.* 2007).

Bienestar animal: en SSP el bienestar animal se mejora como resultado de la mayor disponibilidad de nutrientes que en los monocultivos de pasturas, la reducción del estrés calórico debido a la provisión de sombra, la posibilidad de refugio que reduce el miedo y la ansiedad, y la reducción de ectoparásitos (Giraldo *et al.* 2011, Broom *et al.* 2013).

Aspectos económicos: varios estudios han demostrado que la introducción de SSPI incrementan la producción y mejoran la rentabilidad de la finca (Murgueitio *et al.* 2015). Por ejemplo, Rivera *et al.* (2015) encontraron que los ingresos por venta de leche fueron 42.1% superiores en SSP comparados con pasturas tradicionales. Cuando se adoptan SSPI, después de los costos asociados al establecimiento inicial y el periodo de estabilización, la mayor productividad por hectárea genera ingresos que aseguran la viabilidad económica del sistema. En el mediano plazo, el costo de implementación es más que compensado por el incremento en los ingresos de la finca, debido a mayor productividad (Chará *et al.* 2017).



Finca San Diego. Quindío, Colombia.
Foto J. Chará.

Contribución de los sistemas silvopastoriles a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La mayoría de los aspectos y mecanismos por los cuales los SSP pueden hacer contribuciones importantes a los ODS han sido mencionados en la sesión anterior (beneficios de los SSP). En producciones de pequeña y mediana escala, la inclusión de árboles y arbustos mejora y diversifica la producción de alimentos, reduce la dependencia de insumos externos, y la vulnerabilidad climática y económica. De esta forma contribuye al mejoramiento de los Medios de vida (ODS 1) y de la Seguridad alimentaria (ODS 2) en zonas rurales.

Los SSP hacen una contribución importante al ODS 13, relacionado con la Acción climática, pues incrementan el secuestro de carbono y reducen las emisiones de GEI por unidad de producto. Adicionalmente reducen la vulnerabilidad de la producción ganadera al cambio climático debido a que estabilizan la disponibilidad de forraje a lo largo del año gracias a que favorecen la infiltración del agua y conservación del suelo. Los SSP también contribuyen al ODS 15 relacionado con la Biodiversidad terrestre al incrementar la diversidad de hábitats, aumentar la conectividad y reducir la degradación del suelo en zonas rurales.

También pueden contribuir a la Producción responsable (ODS 12) mediante el uso eficiente de los recursos naturales (produciendo más con menos), la mejora del bienestar animal, la reducción de la morbilidad y mortalidad, y el incremento del ciclaje de nutrientes y otros procesos naturales, los cuales reducen la necesidad de fertilizantes químicos y pesticidas.

Los SSP pueden también incrementar los beneficios económicos a través del mejoramiento de la rentabilidad como resultado de mejores ganancias por unidad de tierra y por animal y, como consecuencia, contribuyen al ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico).



Ganado Brangus en un SSP con Pino Híbrido. Estancia La Victoria. Corrientes, Argentina. Foto D. Sempe.



Estudios de caso de adopción de SSP en América Latina

Se espera que la demanda global de carne y leche continúen creciendo durante las próximas décadas. Para satisfacer esta demanda se requiere un incremento significativo en el uso de recursos naturales. Hasta ahora la producción de carne y leche ha ocurrido a expensas de los ecosistemas naturales y ha hecho una contribución significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y al cambio climático (Steinfeld *et al.* 2006). Estos impactos tienen implicaciones importantes para América Latina, ya que la producción ganadera en esta región se basa en gran medida en sistemas extensivos, con baja capacidad de carga y altas emisiones de GEI por kg de producto (O'Mara 2011, González *et al.* 2015).

A diferencia de estos antecedentes, estudios recientes en SSP han demostrado la posibilidad de intensificación sostenible de la actividad ganadera pues se produce más carne y leche de alta calidad, a la vez que se reducen las emisiones de GEI (por kg de producto) y se restauran ecosistemas degradados. Latinoamérica ha experimentado extensivamente con SSP como una opción para la ganadería sostenible y muchos de los países latinoamericanos han acumulado experiencia importante, adoptando y adaptando SSP a las circunstancias locales.

Diez estudios de caso de Argentina, Colombia y México han sido seleccionados para ilustrar la adopción de SSP. Colombia está actualmente implementando un proyecto SSP a gran escala (ver Cuadro 1), aspirando a lograr una importante cobertura regional de SSP para la producción ganadera. En la región de Michoacán en México, alianzas público privadas dirigidas por productores, han convertido más de 10.000 ha de monocultivos de pasturas a SSP. Finalmente, en Argentina, en la región de Misiones y Corrientes, industrias madereras a gran escala han introducido la producción de carne junto con la producción de madera, por la implementación SSP.



Cuadro 1 Proyecto: Ganadería Colombiana Sostenible

El proyecto fue financiado por el gobierno del Reino Unido y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) bajo la administración del Banco Mundial, y llevado a cabo por la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN), el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), The Nature Conservancy (TNC) y el Fondo Acción, con la participación de los Ministerios de Medio Ambiente y Agricultura. El principal objetivo fue promover la adopción de sistemas silvopastoriles ganaderos amigables con el medio ambiente, con el ánimo de mejorar la administración de los recursos naturales, mejorando la provisión de servicios ambientales (biodiversidad, tierra, carbono y agua), e incrementando la productividad de la finca.

El proyecto benefició más de 3.000 predios en cinco regiones del país y obtuvo los siguientes logros: i) cerca de 50.000 ha con producción ganadera amigable con el medio ambiente (31.000 ha de SSP con baja densidad de árboles, 2.650 ha de SSP intensivos, 15.000 ha de bosques preservados en las fincas); ii) 51.900 ha bajo esquema de pago por servicios ambientales (PSA); iii) incremento de más de 15% en la capacidad de carga y productividad por animal; iv) mejora en la biodiversidad e incorporación/protección de 50 especies de plantas en peligro de extinción en las fincas; y v) 1.9 millones de Mg de CO₂eq secuestradas en la biomasa aérea y el suelo en las áreas implementadas de SSP. Adicionalmente, el proyecto contribuyó significativamente al desarrollo de políticas públicas, el entrenamiento de técnicos y productores, y el desarrollo de una red de fincas demostrativas y proveedores de servicios.

Los estudios de caso han sido seleccionados intencionalmente para ilustrar la adopción de diferentes tipos de SSP implementados bajo diversas condiciones agroecológicas, diferentes sistemas de producción e intentando acercarse a desafíos específicos de la sostenibilidad. Seis de los estudios de caso de SSP cubren la introducción de SSPi, mientras cuatro estudios de caso se refieren a otros arreglos silvopastoriles. La Tabla 1 provee un resumen de las principales características de cada uno de los estudios de caso.

Tabla 1 Principales características de los estudios de caso seleccionados

Estudios de caso	1	2	3	4
País	Colombia	Colombia	Colombia	Colombia
Condiciones climáticas	<i>Seco Tropical</i>	<i>Semihúmedo Tropical</i>	<i>Seco Tropical</i>	<i>Semihúmedo Tropical</i>
Temp. prom. (°C)	28	23	24	22
Precip. (mm/año)	1 560	1 700	971	1 860
Altitud (msnm) ¹	72	984	1 010	1 160
Sistema de producción	Ceba	Doble propósito	Lechería tropical	Lechería tropical
Meta sostenible	Restauración de los recursos naturales degradados	Producción intensiva sostenible	Producción intensiva sostenible	Producción intensiva sostenible
Línea base vs SSP	De suelos degradados a producción intensiva sostenible	De producción intensiva con alta dependencia de insumos externos a producción intensiva sostenible	De producción intensiva con alta dependencia de insumos externos a producción intensiva sostenible	De producción intensiva con alta dependencia de insumos externos a producción intensiva sostenible
Estrategia Silvopastoril	SSPi Leucaena + Panicum ² + Eucalyptus	SSPi Leucaena + pasto estrella/ Panicum	SSPi Leucaena + pasto estrella / Panicum	SSPi Leucaena + pasto estrella

¹ metros sobre el nivel del mar. ² *Megathyrsus maximus*. ³ *Axonopus catarinensis*



5	6	7	8	9	10
Colombia	Colombia	México	México	Argentina	Argentina
<i>Semihúmedo Tropical</i>	<i>Húmedo Tropical</i>	<i>Seco Subtropical</i>	<i>Seco Subtropical</i>	<i>Húmedo Subtropical</i>	<i>Húmedo Subtropical</i>
22	25.8	22	22	20	21
1 872	3 500	700	700	1 585	1 650
1 232	260	380	271	210	80
Ganado de cría	Doble propósito	Lechería tropical	Ceba	Cultivo forestal + ceba	Cultivo forestal + ceba
Restauración de los recursos naturales degradados	Reducción de la deforestación y recuperación del ecosistema	Producción intensiva sostenible	Producción intensiva sostenible	Diversificación sostenible del uso de la tierra	Diversificación sostenible del uso de la tierra
De suelos degradados a producción sostenible	De áreas deforestadas por producción extensiva a producción intensiva sostenible, liberando terreno para la recuperación del ecosistema	De producción intensiva con alta dependencia de insumos externos a producción intensiva sostenible	De uso de la tierra extensiva a producción intensiva sostenible	De monocultivo forestal a uso diversificado de la tierra	De uso de la tierra extensiva a producción intensiva sostenible
SSP	SSP	SSPi	SSPi	SSP	SSP
Árboles en surcos + pasto estrella	Árboles dispersos + <i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Leucaena + Panicum</i>	<i>Leucaena + Panicum</i>	<i>Pino híbrido</i> <i>Pino + Pasto Jesuita</i> ³	<i>Pino híbrido</i> <i>Pino + Pasto Jesuita</i> ³



Métodos y métricas

Por cada uno de los estudios de caso, como primer paso, se evaluó la situación de referencia (línea base, “año 0”) que representa el estatus de la finca antes de la intervención. Se usó la información histórica de los registros de la finca para definir el escenario de línea base. Luego, con el apoyo de asesores, productores e investigadores, se colectó, discutió y registró la información acerca del área convertida por año y las implicaciones de la producción de forraje, producción animal y economía de la finca.

Para cada finca se definieron dos escenarios: pastoreo convencional (antes de la adopción de SSP, i.e. línea base) y el escenario de SSP. Para modelar la adopción de SSP, se usaron los registros de cada finca, así como hallazgos de investigación aplicada. Adicionalmente, un panel formado por expertos locales y regionales de diferentes disciplinas contribuyeron al análisis y discusión. Se usaron modelos *agri benchmark* y metodologías comparables para modelar los escenarios (ver Anexo 1). Se seleccionó un conjunto de variables para evaluar diferentes aspectos de sostenibilidad y modelarlos durante un periodo de diez años. La Tabla 2 presenta las principales variables usadas para evaluar los aspectos seleccionados de sostenibilidad.

Tabla 2 Variables clave usadas para evaluar aspectos seleccionados de sostenibilidad

Área	Variable / Criterio	Unidad de medida
Productividad	Productividad del forraje	Mg de materia seca por ha
	Productividad de la tierra	Kg de carne o leche por ha
Finanzas	Costos totales	‘000 USD
	Ingresos totales	‘000 USD
Medio ambiente	Emisiones de CO ₂	Kg/100 Kg PV* (o LCE**) adicional
	Emisiones de CH ₄ , N ₂ O	Kg/100 Kg PV (o LCE) adicional
Bienestar animal	Alimentación	Disponibilidad de agua y alimento
	Salud	Ausencia de heridas, enfermedad y dolor
	Refugio	Confort térmico, acceso a la pastura y descanso
	Comportamiento	Ausencia de miedo y agresión

* PV= Peso vivo, ** LCE = Leche corregida por energía.

Para cada estudio de caso, la información de las variables seleccionadas fue recolectada durante un periodo de al menos diez años. La información fue corroborada con las instituciones de investigación nacionales y regionales, y la aplicación de un protocolo externo de calidad. Los resultados provisionales y finales fueron validados por los asesores, investigadores y productores.

Con el fin de estandarizar el análisis económico de los SSP, se asumió que el costo de establecimiento para todas las fincas fue financiado mediante créditos comerciales con todos los servicios subcontratados (cercado, plantación, control de arvenses, fertilizantes, bombeo de agua, tuberías, asesoría, etc.). Para aislar los efectos de la introducción de los SSP en los ingresos de las fincas, de aquellos derivados de las fluctuaciones económicas, los precios de los insumos y los productos (leche, carne y animales vivos) se mantuvieron constantes durante el periodo de análisis.

Resultados

Área convertida a SSP y producción de forraje: al final del año 9, cuatro fincas habían convertido todo su terreno a SSP mientras que las seis fincas restantes habían convertido entre el 40% (finca 10) y 70% (finca 3) de su territorio a SSP (Tabla 3). En el año 9, las fincas que dedicaron todo su territorio a SSP, produjeron entre 22 y 28 Mg de MS ha⁻¹. En tres casos, fincas 1, 7 y 8, esto representó un incremento en la producción de forraje por hectárea de 175% a 733%. En el caso de la finca 4, la producción de forraje declinó un 29% después de la introducción del SSP debido a la muy alta producción en la línea base (40 Mg ha⁻¹) por el uso intensivo de fertilizantes químicos (>600 kg ha⁻¹ año⁻¹), el cual fue totalmente descontinuado después de la introducción de SSP.

Tabla 3 Área convertida a SSP y cambio en la producción de forraje

Caso	Área productiva (ha)		Producción de forraje (Mg MS/ha)		
	Total	SSP Año 9 (%)	Línea base	Año 9	% dif.
1	140	140 (100)	3	25	733
2	30	14 (47)	14	16	12
3	135	94 (69)	24	28	18
4	50	50 (100)	40	28	-29
5	37	25 (68)	2	11	450
6	170	100 (59)	5	25	400
7	50	50 (100)	10	28	180
8	60	60 (100)	8	22	175
9	240	195 (81)	3 ¹	7	133
10	950	378 (40)	3	4	33

¹ Al año de introducción del ganado, i.e. año 4 después del inicio de la conversión a SSP.

Los SSP con arreglos forestales (casos 9 y 10) produjeron cantidades mucho menores de forraje en MS por hectárea, debido a que el cultivo forestal ocupaba la mayoría del área intervenida, pero el incremento fue, sin embargo, notable (33% y 133%). Para más detalles ver el Anexo 2.

Producción de carne y leche: en las fincas 4 y 7, que se dedican a la producción lechera y convirtieron toda su área SSPi, la producción de leche por hectárea se incrementó 74% y 314%, respectivamente (Tabla 4). Teniendo en cuenta la menor proporción del área convertida a SSPi (46% y 69%), se presentaron incrementos de magnitudes similares en las fincas 2 y 3. La finca 6 tuvo el mayor incremento en producción de leche por hectárea, aunque partió de una línea base excepcionalmente baja.

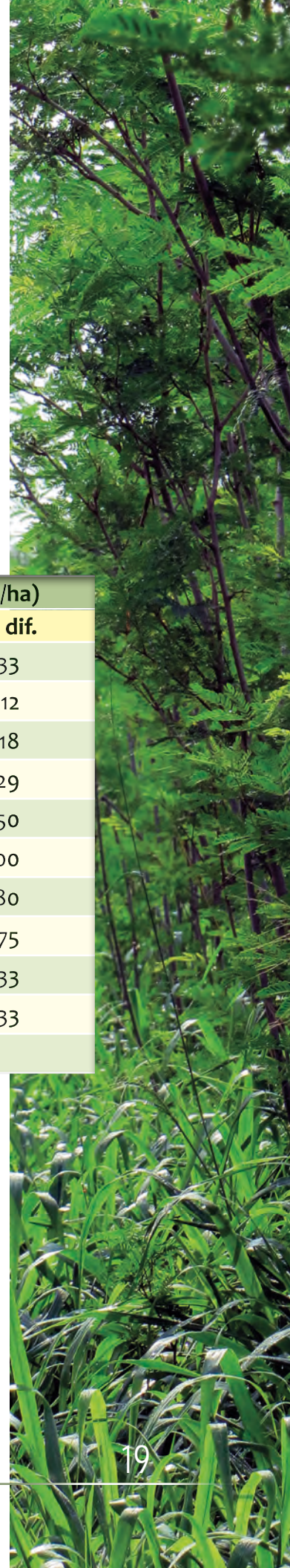


Tabla 4 Producción de carne y leche por hectárea en los años 0 y 9

Caso	Leche (Mg LCE/ha)			Carne (Kg PV/ha)		
	Línea base	Año 9	% dif.	Línea base	Año 9	% dif.
1				126	1 187	842
2	7.2	11.5	60			
3	11.3	13.4	19			
4	14.0	24.4	74			
5				85	1 034	1 116
6	0.4	9.2	2 200			
7	2.9	12.0	314			
8				341	2 670	683
9				48 ¹	274	471
10				86	150	74

¹ En el año en que se introdujo el ganado.

La producción de carne por año, medido como la ganancia total de peso vivo, se incrementó en 683, 842, y 1116% en las tres fincas de carne (fincas 1, 5 y 8) que no tienen un componente forestal, y alcanzó los 2670 kg ha⁻¹ en la finca 8 (Tabla 4). En las dos fincas, en donde se introdujo el ganado de carne como un complemento a la actividad forestal (fincas 9 y 10), la producción de carne por hectárea fue mucho menor, pero también se incrementó sustancialmente en el tiempo.

El incremento en la producción de leche y carne por área resultó de la combinación de los efectos de mayor capacidad de carga y mejora en la producción individual.

Emissiones de GEI: las emisiones de GEI por 100 kg de leche o peso vivo adicionados estuvieron altamente correlacionadas con la producción de leche o carne por hectárea ($r = -0.84$ y -0.66 para leche y carne, respectivamente) y, por tanto, declinó en todas las fincas a medida que se incrementó la producción después de la introducción del SSP, (Tabla 5).

Tabla 5 Emisiones de GEI por 100kg leche/carne en los años 0 y 9

Caso	Kg CO ₂ eq/100kg LCE			Kg CO ₂ eq/100kg PV adicionado		
	Línea base	Año 9	% dif	Línea base	año 9	% dif
1				947	859	-9
2	181	179	-1			
3	192	179	-7			
4	178	92	-48			
5				1 029	977	-5
6	1 208	253	-79			
7	287	180	-37			
8				1 241	401	-68
9				- ¹	927	
10				1 264	945	-25

¹ No se presentaron emisiones de línea base, pues inicialmente no se tenía ganado en la finca.

Las fincas con los mayores incrementos en la producción de leche por hectárea en relación con la línea base, también lograron la mayor reducción en las emisiones de GEI por unidad de leche producida. Sin embargo, esta relación no fue tan clara para la producción de carne, pues algunas fincas que obtuvieron ganancias grandes en la productividad animal (por hectárea) no tuvieron reducciones de igual proporción en las emisiones de GEI por kg de carne. Por ejemplo, las fincas 1 y 5 obtuvieron grandes ganancias en peso vivo por hectárea (>800%), mientras las reducciones de las emisiones de CO₂-eq por 100 kg de PV ganado fueron menores al 10%. Esto fue causado por el hecho de que, en ambas fincas, el incremento en el peso vivo por hectárea fue principalmente el resultado de un mayor incremento en la capacidad de carga que un incremento en el desempeño animal individual.

Adicionalmente, estudios específicos en emisiones de GEI del suelo llevados a cabo en la finca 3 mostraron que: i) las áreas con SSPi con leucaena generaron 30% menos CO₂, 98% menos CH₄ y 89% menos N₂O por hectárea y mes cuando se compararon con una finca adyacente con riego y alto aporte de fertilizantes (Rivera *et al.* 2018); ii) novillas alimentadas con una dieta silvopastoril (26% leucaena y 74% pasto estrella en base seca) produjeron 33% menos CH₄ por kg de ganancia de peso que las novillas alimentadas con solo pasto (Molina *et al.* 2016); y iii) la emisión de CO₂eq por kg de leche corregida por grasa y proteína (LCGP) y por kg de leche corregida por energía (LCE) fue 13.4 % y 12.5 % menor que en el sistema convencional de altos insumos similar a la línea base de la finca (Rivera *et al.* 2016). Debido a que en los SSPi no se aplican fertilizantes químicos y los requerimientos de alimentos concentrados se reducen notablemente, los SSPi usan 55% a 62% menos de energía no renovable para producir un kg de LCE y LCGP que los sistemas convencionales. Además de estas reducciones en emisiones de GEI, el almacenamiento de carbono en la biomasa aérea en la finca fue estimado de 45.3 Mg ha⁻¹ en las áreas de SSPi vs. 11.7 Mg ha⁻¹ en las áreas con monocultivo de pasturas (Arias *et al.* 2009).

Biodiversidad: en la finca 5, la investigación adicional llevada a cabo por CIPAV, mostró un incremento de tres veces en aves, un 60% más en el conteo de hormigas y el doble de escarabajos estercoleros comparados con la línea base.

Bienestar animal: los SSP ofrecen condiciones óptimas para asegurar el bienestar animal. Proveen una gran cantidad de forraje verde que suple los requerimientos nutricionales mientras que los árboles y arbustos proveen sombra durante el día. La condición corporal pobre y el estrés calórico observados en fincas vecinas que practicaban ganadería extensiva, no se observaron en las fincas de los estudios de caso. Los animales tuvieron la libertad de moverse en un ambiente diverso para expresar una variedad de comportamientos naturales. En comparación con las fincas vecinas sin SSP, se encontraron distancias de fuga cortas y reacciones calmadas, por ejemplo, durante el movimiento entre potreros, lo que indica que el ganado no presentaba miedo a los humanos.

Aspectos económicos: el periodo seleccionado para el análisis de los aspectos económicos de la finca comprendió las siguientes etapas: (i) intervenciones iniciales (1-2 años para selección y establecimiento – las áreas de SSP empezaron a producir 6-8 meses después del establecimiento); (ii) ampliación de las intervenciones (3-5 años para incrementar áreas de SSP y consolidar el manejo de la finca – algunas áreas en plena producción, otras parcialmente establecidas); y (iii) implementación completa (4-6 años - todas las áreas de SSP en plena producción) en los dos casos donde el sistema SSP fue implementado en conjunto con el cultivo forestal, el periodo de análisis financiero fue mayor (hasta 27 años) para incluir la venta de madera.

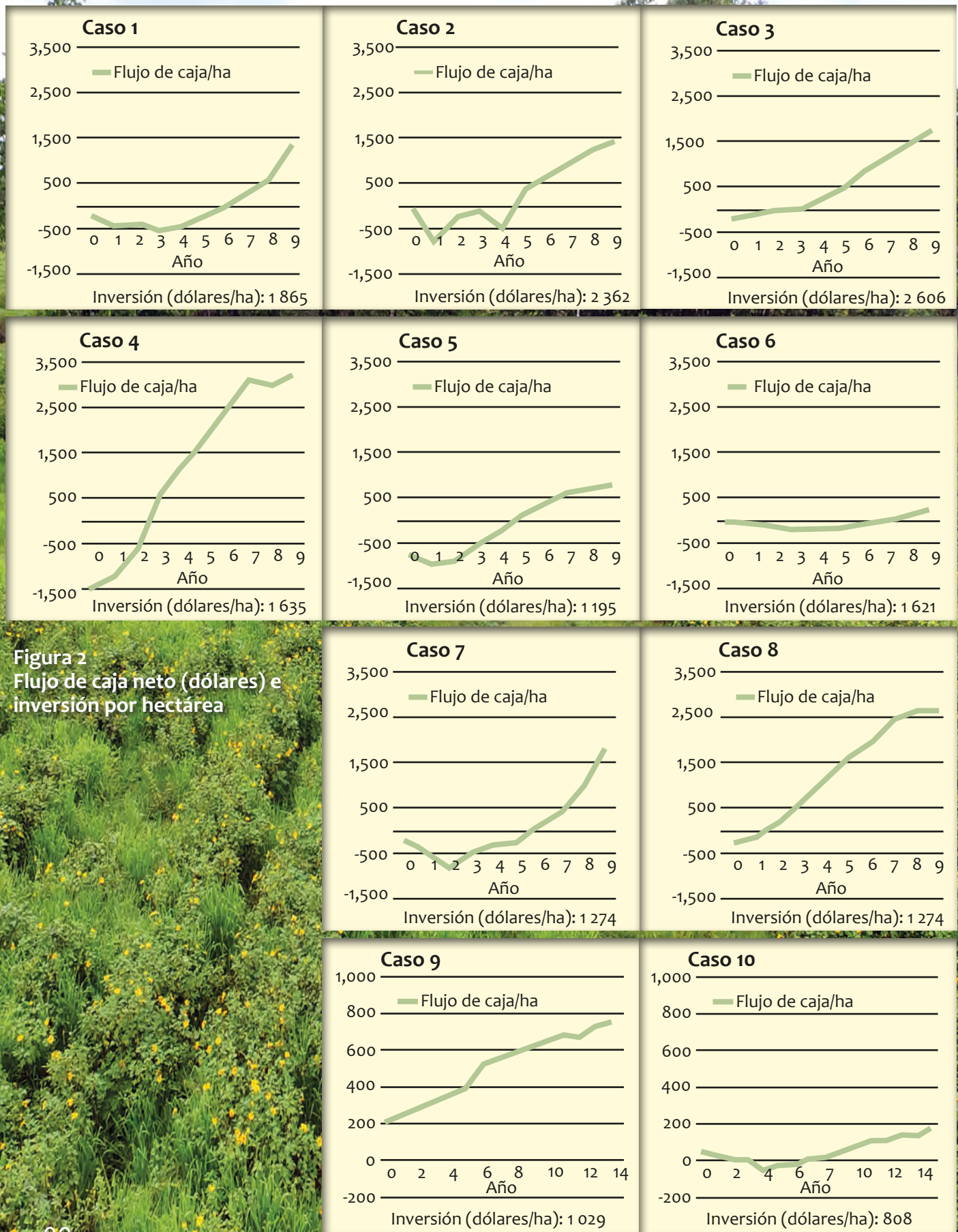


Figura 2
Flujo de caja neto (dólares) e inversión por hectárea

La inversión por hectárea convertida a SSP osciló entre 808 (finca 10) y 2.606 (finca 3) dólares con un promedio de 1.543 dólares. (Como se usó la tasa de cambio del año de introducción de los SSP en cada estudio de caso y se mantuvo a lo largo del análisis, las comparaciones entre las fincas en dólares son afectadas por las diferencias en la tasa de cambio entre años de establecimiento). Los arreglos silvopastoriles que usan árboles dispersos en potrero y/o cercas vivas en lugar de altas densidades de arbustos y árboles, incurrieron en menores costos de inversión (por ejemplo, la finca 5 con 1195 dólares ha⁻¹). También se tuvieron costos más bajos en la combinación cultivo forestal –carne (fincas 9 y 10), en las cuales algunos de los requerimientos de establecimientos de los SSP habían sido ya asumidos por la operación del cultivo forestal (por ejemplo, las cercas).

En varios casos se identificaron tres periodos de flujo de caja (Figura 2): Un periodo negativo inicial de flujo de caja, debido a la situación negativa de la línea base y/o a el periodo de inversiones iniciales, en las cuales la producción animal aún no se estaba beneficiando de los incrementos en la productividad de la tierra. Un periodo de flujo de caja de estabilización caracterizado por un incremento gradual de los ingresos, debido a los incrementos en la productividad de la tierra y del ganado. Y, finalmente, un flujo de caja altamente positivo comparado con la línea base.

En todos los casos, al final del periodo de análisis, los ingresos fueron mayores que los costos, y seis de las ocho fincas, en las cuales el ganado no fue un complemento al cultivo forestal, tuvieron ganancias por hectárea de 1500 dólares o más (Figura 2). La evolución positiva de las ganancias de la finca a lo largo del tiempo, en muchos casos partiendo de una línea base negativa, demuestra claramente que las inversiones en SSP no son solo benéficas ambientalmente, sino financieramente sólidas. Desde el punto de vista del flujo de caja, el primer periodo de inversión puede, no obstante, resultar en valores negativos, lo cual debe tenerse en cuenta para la financiación de la inversión en SSP.



SSP con Eucalipto, Leucaena y Megathyrus. Finca La Luisa. Cesar, Colombia. Foto J. Chará.



Conclusiones y recomendaciones

Los estudios de caso proveen evidencia de la habilidad de SSP para generar una “triple ganancia” pues combinan los efectos positivos en productividad y rentabilidad con mejoras ambientales y beneficios para el bienestar animal. Sin embargo, el tipo de SSP seleccionado, la cantidad de terreno convertido, los requerimientos financieros, así como los impactos de la adopción de SSP variaron entre los casos estudiados. Por lo tanto, para ser exitosos, los esfuerzos de escalamiento de los SSP requieren un sólido entendimiento de los factores biológicos, económicos y políticos que determinan su adopción.

Factores que afectan el impacto y la adopción de SSP

Las condiciones de la línea base de las fincas bajo estudio determinaron el objetivo de la adopción del SSP, el modelo silvopastoril seleccionado, su impacto biológico y el resultado financiero.

Por ejemplo, en las fincas 1, 5, 6 y 8, los parámetros productivos y económicos de línea de base eran muy pobres. Estas fincas practicaban ganadería extensiva en terrenos degradados con muy bajos niveles productivos. Para introducir SSP, la finca 1 (ceba), por ejemplo, tuvo que hacer cambios grandes en todos los dominios de la administración de la finca (administración de la tierra y del agua, genética y salud animal, etc.). En estos casos las inversiones iniciales son altas, debido al cambio completo requerido cuando se adopta un SSP, llevando a flujos de caja negativos. Adicionalmente, la finca 1 tuvo que comprar animales cada año para aprovechar el incremento en la producción de forraje, por lo cual necesitó aún más capital por un periodo prolongado.

Una situación diferente se presentó en las fincas 2, 3, 4 y 7, donde la situación de la línea base fue caracterizada por una alta dependencia de insumos externos como fertilizantes y concentrados. En estas fincas, el flujo de caja declinó por cerca de 2-3 años debido a que algunas áreas fueron sacadas de producción durante la preparación y establecimiento del SSP, y solo alcanzaron la producción plena un año después. Durante ese periodo, y dependiendo del área de intervención, la producción total de forraje (pasturas convencionales más áreas nuevas de SSP) puede haber decrecido, lo cual pudo haber causado flujos de caja negativos en el periodo inicial.

El nivel de administración de la finca antes de la adopción de los SSP jugó un rol importante en el desempeño económico del predio. Las que tenían un nivel de administración relativamente alto (en términos de registros, contabilidad, planeación y manejo de recursos) antes de la introducción de SSP alcanzaron rápidamente una situación de flujo de caja positivo durante el periodo de adopción. Fincas con niveles más bajos de administración tuvieron que implementar cambios grandes, con consecuencias financieras más dramáticas durante el periodo de adopción (periodos más largos de flujo de caja negativo y, por ende, requerimientos crediticios más altos).

En el caso de la producción forestal combinada con la ceiba (fincas 9 y 10), los costos iniciales del SSP fueron menores que en otros casos, principalmente debido al hecho de que las inversiones más altas habían sido asumidas por el componente forestal (cercado, riego, plantación). Las economías de escala (principalmente en relación con la mano de obra) también jugaron un importante rol en la reducción de los costos de implementación del SSP. En estos dos casos, los mayores ingresos se obtuvieron por la venta de madera, y la empresa de ceiba aportó flujos de caja adicionales a corto y mediano plazo.

Aunque en el largo plazo los beneficios económicos de la inversión en el establecimiento de los SSP son mayores que los costos, la adopción puede limitarse por el nivel de inversión requerido y el riesgo asociado, las limitaciones en el acceso a capital y la deficiente capacidad administrativa de las explotaciones.



SSP con Inga y pasto estrella. Finca Pinzacua. Valle del Cauca, Colombia. Foto J. Chará.



Alcance de la adopción de SSP en América Latina

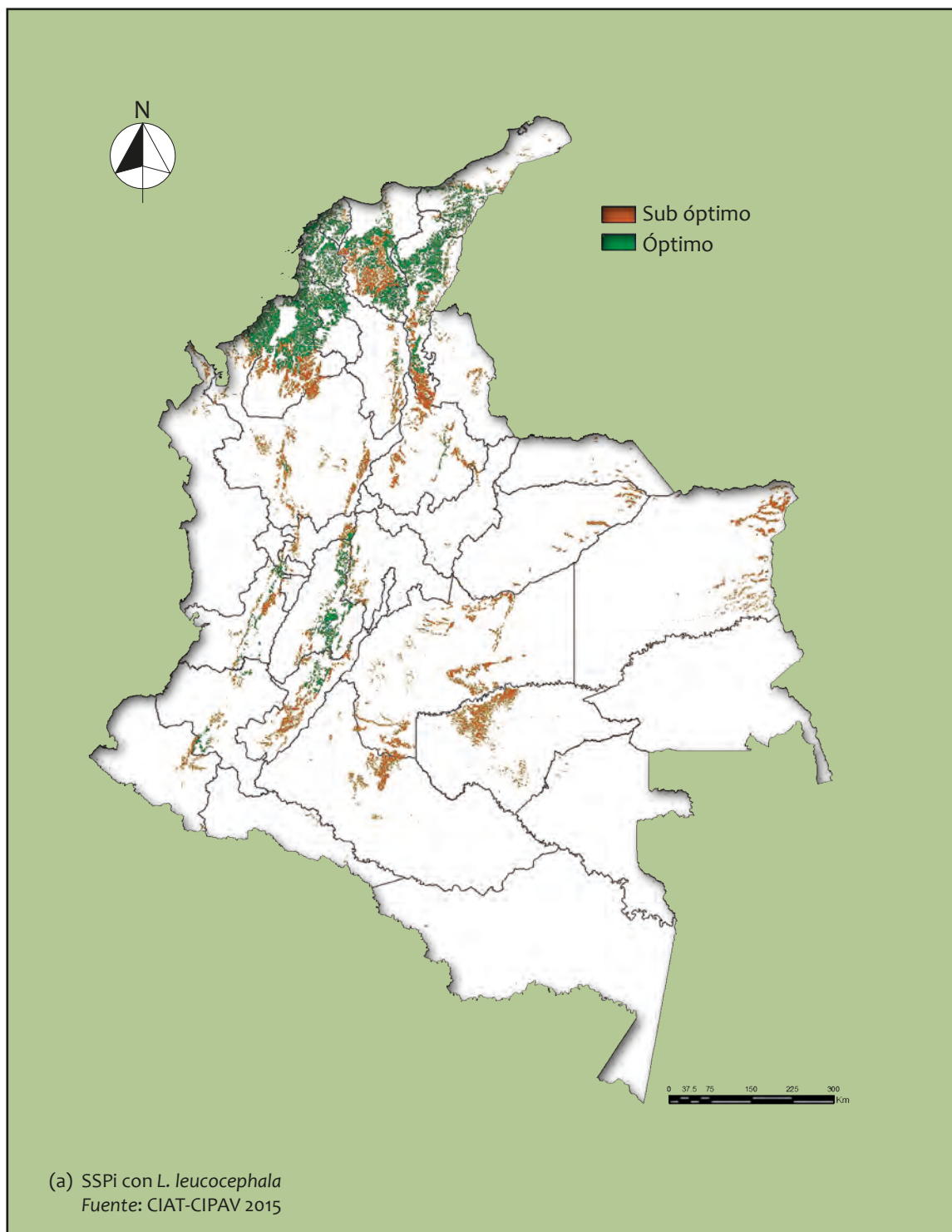
En América Latina los arreglos silvopastoriles tienen el potencial para ser establecidos en la mayoría de regiones en donde se practica la ganadería. Aparte de los arreglos analizados en los estudios de caso, existen otros que han sido desarrollados y adaptados a condiciones ambientales específicas usando especies de árboles y pastos nativos o adoptando nuevas especies adecuadas para cada condición. Para cada situación o tipo de arreglo, hay pastos específicos, arbustos o árboles que pueden ser seleccionados acorde al tipo de suelo, altitud, temperatura, precipitación, etc. La siguiente tabla muestra el rango de condiciones adecuadas para el establecimiento de SSP intensivos con *Leucaena leucocephala* o *Tithonia diversifolia* en los trópicos.

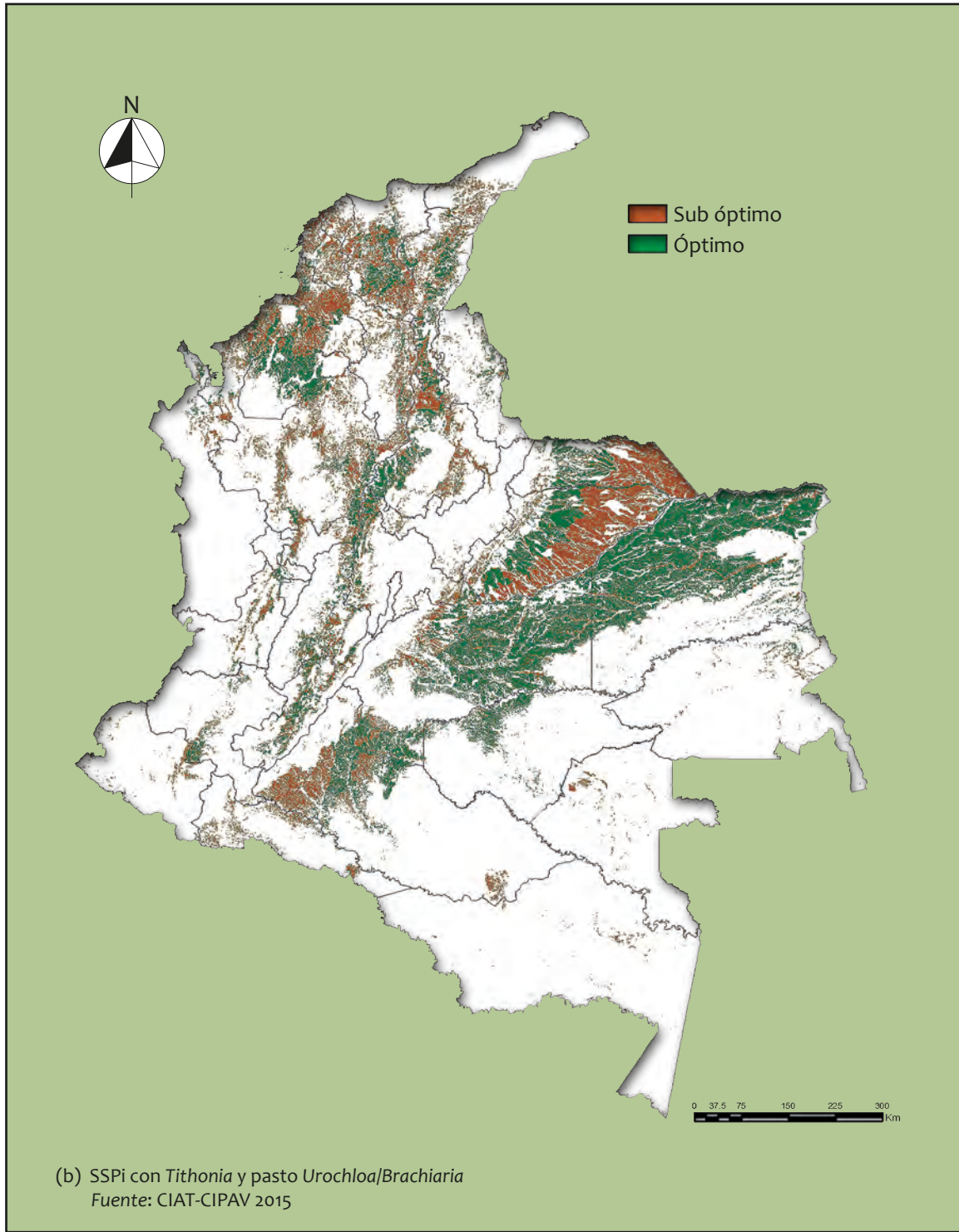
Tabla 6 Condiciones óptimas para el establecimiento de tres SSPi en el trópico

Suelo y condiciones ambientales	<i>Leucaena</i> – Pasto estrella/ <i>Megathyrus</i>	<i>Tithonia</i> – Pasto <i>Urochloa/Brachiaria</i>	<i>Tithonia</i> – Pasto Kikuyo
Características del suelo			
pH	6.0 – 8.0 Sin toxicidad por aluminio	4.5 – 7.0	5.5 – 7.0
Textura	Franco arenoso – franco arcilloso	Franco arenoso – franco arcilloso	Franco arenoso – franco arcilloso
Fertilidad	Alta a media	Alta a media	Alta
Drenaje	Suelos bien drenados	Suelos bien drenados	Tolera inundaciones por periodos cortos
Condiciones ambientales			
Precipitación (mm/año)	1 000 – 1 700	1 200 – 3 000	1 000 – 2 500
Temperatura (°C)	24 – 30	22 – 28	14 – 18
Altitud (msnm)	0 – 1 300	0 – 1 600	1 800 – 2 400
Luminosidad (horas/año)	1 000 – 1 500	1 000 – 1 500	900 – 1 200

De acuerdo a un estudio llevado a cabo por CIPAV y CIAT teniendo en cuenta las características presentadas en la Tabla 6, existe un potencial para establecer aproximadamente 2.5 millones de ha a SSPi con *L. leucocephala*, 7.7 millones de ha de SSPi con *Tithonia* y *Urochloa*/pasto *Brachiaria* (Figuras 3a & b), y 0.2 millones de ha con *Tithonia* y pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en Colombia. Estas 10.4 millones de hectáreas solo consideraron condiciones óptimas para cada sistema basados en las áreas de pastura ya usadas para la ganadería (ECDBC 2015).

Figura 3 Áreas en Colombia adecuadas para el establecimiento de SSPi con (a) *L. leucocephala* y (b) *Tithonia* y pasto *Urochloa/Brachiaria*





Recomendaciones para apoyar la adopción de SSP

Los estudios de caso proveen evidencia sólida de que los SSP aportan simultáneamente ganancias en la productividad y rentabilidad, mejoras ambientales y beneficios al bienestar animal y, por ende, contribuyen al logro de varios ODS. A pesar de estos beneficios, los SSP no han sido ampliamente implementados, debido a diversas barreras técnicas, financieras y culturales. Estas incluyen la ausencia de asistencia técnica a los productores para adaptar los sistemas a condiciones específicas locales, la complejidad técnica del manejo de los SSP y la alta inversión inicial requerida (Chará *et al.* 2017). Muchos productores no están dispuestos a implementar los cambios necesarios en sus predios pues aún perciben a la ganadería como una actividad de baja inversión y poca administración. Adicionalmente, para los SSPi, la complejidad técnica demanda un conocimiento especializado que no está siempre disponible entre los productores, profesionales, académicos o proveedores de extensión rural (Calle *et al.* 2012).

A nivel de finca, las consideraciones financieras están entre los principales determinantes para adoptar SSP. Cualquier programa para introducir SSP debe ser sustentado por un detallado plan de financiación, el cual debe coincidir con los flujos de caja previstos con las condiciones del productor durante el proceso de adopción. Es importante prever periodos críticos en el flujo de caja y definir estrategias para llenar los vacíos financieros durante el proceso de implementación. Esto puede realizarse mediante la adaptación del ritmo de implementación del SSP al flujo de caja o mediante la obtención de préstamos estratégicos que puedan ser pagados una vez que el periodo de flujo de caja negativo sea superado. En esta fase de planeación se requiere una evaluación exhaustiva del riesgo financiero. Las políticas nacionales deben apoyar la adopción de SSP a través del suministro de líneas de crédito y de incentivos específicos, como el pago por servicios ambientales.

Como los SSP son más complejos de manejar que los monocultivos de pasturas, para fomentar la adopción de estos sistemas también es necesario mejorar el acceso de los productores a la asistencia técnica. Los proveedores de servicios técnicos ganaderos juegan un rol importante para apoyar a los productores en la implementación de arreglos silvopastoriles adaptados a sus necesidades. Los programas de asistencia técnica requieren atención especial durante los primeros periodos de adopción cuando el riesgo de fallar es más alto y el flujo de caja es negativo. También, a fin de aprovechar al máximo los beneficios de la adopción de los SSP, se deben mejorar otros aspectos clave de la producción, como el manejo del hato, la suplementación estratégica y la genética. En consecuencia, políticas que promuevan entrenamiento especializado para extensionistas y técnicos en todos los aspectos de la adopción de SSP juegan un papel importante para aumentar su aceptación (Chará *et al.* 2017).

Otro aspecto relacionado con los servicios incluye la adecuada provisión de insumos y suministros (de plantines y semillas), y la disponibilidad de servicios de contratación de maquinaria. Una adecuada escala de implementación a nivel regional es crucial para facilitar el acceso a servicios de asesoría, suministros y mercados.

Los resultados de los estudios de caso resaltan el gran potencial del intercambio de información entre productores y países. A nivel local, el intercambio de información y aprendizaje entre productores ha sido uno de los elementos más importantes para ampliar los programas de SSP. Las alianzas público-privadas dirigidas por organizaciones de productores fuertes, han sido cruciales para superar las complejidades técnicas, permitiendo que un número sustancial de productores adopten satisfactoriamente SSP. Esto fue observado en México con la “Fundación Produce” y en Argentina con el CREA (Consortio Regional de Experimentación Agrícola). Estos programas dedican recursos considerables a esquemas de construcción de capacidades bajo el liderazgo de organizaciones de productores sólidas, con el apoyo de entidades gubernamentales regionales/nacionales (productores como líderes y agentes de cambio formando alianzas público-privadas).

El intercambio de información entre países puede acelerar la adopción de SSP, pues temas que son considerados barreras en un país, pueden haber sido ya solucionados en otro, como es el caso de la producción de madera en SSP, la cual está bien desarrollada en Argentina, pero aún es incipiente en Colombia y México.

Necesidades de investigación

Con el fin de desarrollar estrategias a la medida que puedan ser usadas para promover SSP a nivel (sub) regional y local, es esencial evaluar las implicaciones económicas, ambientales y de bienestar animal de la adopción de otros arreglos silvopastoriles adecuados para otras escalas y condiciones agro-ecológicas.

En regiones, en las cuales los SSP han demostrado ser opciones viables para la sostenibilidad ganadera, es importante cuantificar su capacidad para disminuir la deforestación, reducir la huella de carbono de la producción ganadera, y contribuir a los ODS relacionados con el cambio climático.

Se requiere generar mayor conocimiento sobre árboles y pasturas nativas, y sus interacciones. Con respecto al componente arbóreo de los SSP, existe poca información sobre tecnologías para introducir especies forestales en pastizales, especialmente en los países tropicales en donde existe poca experiencia en cultivos forestales. En estos países, el desarrollo de prácticas silviculturales, mercados y técnicas de procesamiento de la madera proveniente de los sistemas silvopastoriles son incipientes (Calle *et al.* 2012). Se requiere mejorar las prácticas actuales a fin de aumentar la rentabilidad del sistema para persuadir productores a introducir árboles maderables en las regiones donde el mercado para los productos forestales aún no está desarrollado.

Finalmente, es importante desarrollar esquemas de seguros para los periodos críticos de implementación de los SSP y así reducir el riesgo financiero de los programas silvopastoriles.







Referencias

- Arias, L.M., Camargo, J.C., Dossman, M.A., Echeverry, M.A., Rodríguez, J.A., Molina, C.H., Molina, E.J., Melo, I.D. (2009) Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el Valle del Cauca, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58: 32-39.
- Assurewel Project (2017) Advancing Animal Welfare Assurance. www.assurewel.org.
- Barahona, R., Sánchez, M.S., Murgueitio, E., Chará, J. (2014) Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam. (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. En: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano, modalidad Investigación Científica. Bogotá, Colombia. *Revista Carta Fedegán* 140:66-69.
- Botreau, R., Veissier, I., Perny, P. (2009) Overall assessment of animal welfare: Strategy adopted in Welfare Quality. *Animal Welfare* 18:363-370.
- Broom, D.M., Galindo, F.M., Murgueitio, E. (2013) Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* 280:2013-2025.
- Cajas-Girón, Y.S., Cuesta, P.A., Arreaza-Tavera, L.C., Barahona-Rosales, R. (2011) Implementación de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas de doble propósito en las sabanas de la región Caribe colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 24:495-201.
- Calle, Z., Murgueitio, E., Chará, J. (2012) Integrating forestry, sustainable cattle-ranching and landscape restoration. *Unasylva* 63:31-40.
- Campagnani, M., Campos, W., Amorim, S., Rosa, L.H., Auad, A., Cangussú, M., Mauricio, R. (2017) Prospecction and Fungal Virulence Associated with *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae) in an Amazon Silvopastoral System. *Florida Entomologist* 100: 426-432.
- Chará, J., Camargo, J.C., Calle, Z., Bueno, L., Murgueitio, E., Arias, L., Dossman, M., Molina, E. (2015) Servicios ambientales de Sistemas Silvopastoriles Intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica. In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B., (Eds) *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico 402*, CATIE, Turrialba, Fundación CIPAV, Cali, pp 331-347.
- Chará, J., Rivera, J.E., Barahona, R., Murgueitio, E., Deblitz, C., Reyes, E., Mauricio, R., Molina, J., Flores, M., Zuluaga, A. (2017) Intensive silvopastoral systems: economics and contribution to climate change mitigation and public policies. In: Montagnini, F., (Ed) *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty. Advances in Agroforestry 12*. Springer, Dordrecht.
- CIAT-CIPAV 2015. Determinación del potencial de reducciones de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles en el proyecto “análisis de sistemas productivos en Colombia para la adaptación al cambio climático”. Final Report. Cali.
- Colcombet, L., Esquivel, J., Fassola, H., Goldfarb, M.C., Lacorte, S., Pachas, N., Rossner, B., Winck, R. (2015) Los sistemas silvopastoriles en las provincias de Misiones y Corrientes, Argentina. In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B., (Eds) *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico 402*, CATIE, Turrialba, Fundación CIPAV, Cali, pp 105-129.
- Cubillos, A.M., Vallejo, V., Arbeli, Z., Teran, W., Dick, R., Molina, C.H., Molina, E., Roldan, F. (2016) Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *European Journal of Soil Biology* 72:42-50.

- ECDBC (2015) Nota de información de la NAMA Ganadería Bovina Sostenible. Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono, ECDBC. Bogotá.
- Fajardo, D., Johnston, R., Neira, L., Chará, J., Murgueitio, E. (2010) Influencia de los sistemas silvopastoriles en la diversidad de aves en la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente* 58:9–16.
- Ferraz-de-Oliveira, M.I., Azeda, C., Pinto-Correia, T. (2016) Management of Montados and Dehesas for high nature value: an interdisciplinary pathway. *Agrofor Syst* 90:1–6.
- Giraldo, C., Escobar, F., Chará, J., Calle, Z. (2011) The adoption of silvopastoral systems promotes recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. *Insect Conservation and Diversity* 4:115–122.
- González, R., Sánchez, M.S., Chirinda, N., Arango, J., Bolívar, D.M., Escobar, D., Tapasco, J., Barahona, R. (2015) Limitaciones para la implementación de acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en sistemas ganaderos en Latinoamérica. *Livestock Research for Rural Development* Volume 27, Article #249. <http://www.lrrd.org/lrrd27/12/gonz27249.html>. Accessed 21 Jan 2018.
- Harvey, C., Medina, A., Sánchez, D., Vílchez, S., Hernández, B., Saenz, J., Maes, J.M., Casanoves, F., Ssinclair, F. (2006) Patterns of animal diversity in different forms of tree cover in agricultural landscapes. *Ecological Applications* 16:1986–1999.
- Harvey, C., Chacón, M., Donatti, C., Garen, E., Hannah, L., Andrade, L.A., Bede, L., Brown, D., Calle, A., Chará, J.D., Clement, C., Gray, E., Hoang, M., Minang, P., Rodríguez, A., Seeberg-Elverfeldt, C., Semroc, B., Shames, S., Smukler, S., Somarriba, E., Torquebiau, E., van Etten, J., Wollenberg, E. (2013) Climate-smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. *Conservation Letters* 7:77–90.
- Ibrahim, M., Guerra, L., Casasola, F., & Neely, N. (2010). Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits. In: Abberton M, Conant R, Batello C (Eds) *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics*. Proceedings of the workshop on the role of grassland carbon sequestration in the mitigation of climate change. *Integrated Crop Management*, Vol. 11. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/013/i1880e/i1880e09.pdf>
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest Syst*, 76(1), 1–10
- Kumar, B.M., George, S.J., Jamaludheen, V. & Suresh, T.K. (1998). Comparison of biomass production, tree allometry and nutrient use efficiency of multipurpose trees grown in woodlot and silvopastoral experiments in Kerala, India. *For. Ecol. Manage*, 112,145–163.
- Kunst, C., Navall, M., Ledesma, R., Silberman, J., Anríquez, A., Coria, D., Bravo, S., Gómez, A., Albanesi, A., Grasso, D., Dominguez Nuñez, J., González, A., Tomsic, P., Godoy, J. (2016) Silvopastoral Systems in the Western Chaco Region, Argentina. In: Peri PL, Dube, F., Varella, A., (Eds) *Advances in Agroforestry* Chapter 1, pp. 1–8, Springer International Publishing, Switzerland.
- Lacorte, S., Esquivel, J. (2009) Sistemas silvopastoriles en la Mesopotamia Argentina. Reseña del conocimiento, desarrollo y grado de adopción. 1° Congreso nacional de sistemas silvopastoriles. Posadas, Misiones, Argentina, 14–16/Mayo/2009, pp 70–82.
- Le Heoureu, H. (1987) Indigenous shrubs and trees in the silvopastoral systems of Africa. In: Stepler, H., Nair, R. (Eds) *Agroforestry: A decade of development*. ICRAF, 1987.
- Mahecha, L., Murgueitio, M., Angulo, J., Olivera, M., Zapata, A., Cuartas, C.A., Naranjo, J.F., Murgueitio, E. (2011) Desempeño animal y características de la canal de dos grupos raciales de bovinos doble propósito pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 24:470.

- McAdam, J. (2005) Silvopastoral systems in North-West Europe. In: Mosquera-Losada M, McAdam, J., Rigueiro-Rodríguez, A. (Eds) Silvopastoralism and sustainable management. Proceedings of the international congress on silvopastoralism and sustainable land management. Lugo, Spain, 2005.
- Mojardino, M., Revell, D., Pannell, D.J. (2010) The potential contribution of forage shrubs to economic returns and environmental management in Australian dryland agricultural systems. *Agricultural Systems* 103:187–197.
- Molina, I.C., Angarita, E., Mayorga, O.L., Chará, J., Barahona, R. (2016) Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. *Livestock Science* 185: 24–29.
- Montagnini, F., Nair, P.K.R. (2004) Carbon sequestration: An under-exploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61 & 62:281–298.
- Montagnini, F., Ibrahim, M., Murgueitio, E. (2013) Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et Forêts des Tropiques* 316(2):3–16.
- Montoya-Molina, S., Giraldo-Echeverri, C., Montoya-Lerma, J., Chará, J., Escobar, F., Calle, Z. (2016) Land sharing vs. land sparing in the dry Caribbean lowlands: A dung beetles' perspective. *Applied Soil Ecology* 98:204–212.
- Moreno, G., Pulido, F. (2009) The functioning, management and persistence of the Dehesas. In: Rigueiro-Rodríguez, A., et al. (Eds) *Agroforestry in Europe: 127 Current Status and Future Prospects*. Springer Science & Business Media B.V: p127–160.
- 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
- Murgueitio, E., Chará, J., Solarte, A., Uribe, F., Zapata, C., Rivera, J.E. (2013) Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 26:313–316.
- Murgueitio, E., Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C.H., Uribe, F. (2015) Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (Eds) *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie Técnica Informe Técnico 402, CATIE, Turrialba, Fundación CIPAV, Cali, pp 59–101.
- Murgueitio, E., Uribe, F., Molina, C., Molina, E., Galindo, W., Chará, J., Flores, M., Giraldo, C., Cuartas, C., Naranjo, J., Solarte, L., González, J. (2016) Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena. In: Murgueitio, E., Galindo, W., Chará, J., Uribe, F. (Eds) Editorial CIPAV. Cali, Colombia. 220pp.
- Nair, P.K.R. (2011) Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784–790.
- Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D. (2009) Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172:10–23.
- Nair, P.K.R., Nair, V.D., Kumar, B.M., Showalter, J. (2010) Carbon sequestration in agroforestry systems. *Adv. Agron.* 108:237–307
- Nair, P.K.R. (2011) Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality* 40:784–790.
- Nair, V.D., Haile, S.G., Michel, G.A., Nair, R. (2007) Environmental quality improvement of agricultural lands through silvopasture in southeastern United States. *Scientia Agricola* 64:513–519.
- Nunes, J., Siva, G., Cerri, C.E., Bernoux, M., Feigl, B.J., Wruck, F.J., Cerri, C.C. (2010) Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research* 110:175–186.

- O'Mara, F.P. (2011) The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Animal Feed Science & Technology* 166–167:7–15
- Orefice, J., Carroll, J., Conroy, D., Ketner, L. (2017) Silvopastoral practices and perspective in the Northeastern United States. *Agroforestry Systems* 91:149–160.
- Pachas, A. (2010) *Axonopus catarinensis* y *Arachis pintoi*: alternativas forrajeras en sistemas silvopastoriles de la provincia de Misiones, Argentina. Tesis MS. Escuela para graduados Ingeniero Agrónomo Alberto Soriano, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 99pp.
- Papanastasis, V.P., Mantzanas, K., Dini-Papanastasi, O., Ispikoudis, I. (2009) Traditional agroforestry systems and their evolution in Greece. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M.R. (Eds) *Agroforestry in Europe: current status and future prospects*, pp. 89–109. Springer: Dordrecht.
- Peri, P.L., Sturzenbaum, M.V., Monelos, L., Livraghi, E., Christiansen, R., Moretto, A., Mayo, J.P. (2005) Productividad de sistemas silvopastoriles en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) de Patagonia Austral. In: *Proceedings III Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Corrientes, Argentina, 10 pp.
- Peri, P.L., Dube, F., Varella, A. (2016) Silvopastoral systems in the subtropical and temperate zones of South America: An overview. In: Peri, P.L., Dube, F., Varella, A. (Eds) *Silvopastoral Systems in Southern South America*, Chapter 1, pp 1–8 *Advances in Agroforestry*, Springer International Publishing, Switzerland.
- Peri, P.L., Banegas, N., Gasparri, I., Carranza, C., Rossner, B., Martínez Pastur, G., Cavallero, L., López, D.R., Loto, D., Fernández, P., Powel, P., Ledesma, M., Pedraza, R., Albanesi, A., Bahamonde, H., Ecclesia, R.P., Piñeiro, G. (2017a) Carbon Sequestration in Temperate Silvopastoral Systems, Argentina. In: Montagnini, F. (Ed) *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*, Chapter 19, pp 453–478. *Advances in Agroforestry* 12, Springer International Publishing.
- Peri, P.L., Caballe, G., Hansen, N.E., Bahamonde, H.A., Lencinas, M.V., von Müller, A.R., Ormaechea, S., Gargaglione, V., Soler, R., Sarasola, M., Rusch, V., Borrelli, L., Fernandez, M.E., Gyenge, J., Tejera, L.E., Lloyd, C.E., Martínez Pastur, G. (2017b) Silvopastoral systems in Patagonia, Argentina. In: Gordon, A.M., Newman, S.M., Coleman, B.R.W. (Eds) *Temperate Agroforestry Systems*, Chapter 11, pp. 252–273. CAB International, Wallingford, UK.
- Radrizzani, A., Shelton, H.M., Dalzell, S.A., Kirchhof, G. (2011) Soil organic carbon and total nitrogen under *Leucaena leucocephala* pastures in Queensland. *Crop and Pasture Science* 62:337–345.
- Ribeiro, R.S., Terry, S.A., Sacramento, J.P., Rocha e Silveira, S., Bento, C.B., Silva, E.F., Montovani, H.C., Gama, M.A.S., Pereira, L.G., Tomich, T.R., Mauricio, R.M., Chaves, A. (2016) *Tithonia diversifolia* as a supplementary feed for dairy cows. *PLoS One* 11: e0165751.
- Rice, R.A., Greenberg, R. (2004) Silvopastoral systems: ecological and socioeconomic benefits and migratory bird conservation. In: Schroth, G., Fonseca, G.A.B., Harvey, C.A., Gascon, C., Vasconcelos, H.L., Izac, A-M.N. (Eds) *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*. Island Press, Washington, DC: 453–472.
- Ríos, N., Cárdenas, A., Andrade, H., Ibrahim, M., Jiménez, F., Sancho, F., Ramírez, E., Reyes, B., Woo, A. (2007) Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico sub-húmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66–71.
- Rivera, J., Cuartas, C.A., Naranjo, J.F., Tafur, O., Hurtado, E.A., Arenas, F.A., Chará, J., Murgueitio, E. (2015) Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 27, Article #189. <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/rive27189.html>. Accessed 21 Jan 2018.

- Rivera, J., Chará, J., Barahona, R. (2016) Análisis de ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 19:237–251.
- Rivera, J., Chará, J., Barahona, R. (2018) CH₄, CO₂ and N₂O emissions from grasslands and bovine excreta in two intensive tropical dairy production systems. *Agroforestry Systems* <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0187-9>.
- Rivera, L., Armbrecht, I., Calle, Z. (2013) Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 181:188–194.
- Sáenz, J.C., 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.
- Shelton, M., Dalzell, S. (2007). Production, economic and environmental benefits of leucaena pasture. *Tropical Grasslands*, 41:174–190.
- Solorio-Sánchez, F.J., Bacab-Pérez, H.M., Ramírez-Avilés, L. (2011) Sistemas Silvopastoriles Intensivos: Investigación en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán. In: Xóchitl-Flores, M., Solorio-Sánchez, B. (Eds) Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la producción de leche y carne en el trópico de México. Primera etapa del proyecto estratégico de prioridad nacional. SAGARPA, Fundación Produce Michoacán, COFUPRO, UADY, Morelia, México, 15 pp.
- Solorio-Sánchez, F.J., Solorio-Sánchez, B., Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Ayala-Burgos, A., Ku-Vera, J., Aguilar-Pérez, C. (2012) Situación actual global de la investigación y desarrollo tecnológico en el establecimiento, manejo y aprovechamiento de los sistemas silvopastoriles intensivos. In: IV Congreso Internacional sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos. Fundación Produce Michoacán, Universidad Autónoma de Yucatán, Morelia, México, 21 -23 mar, pp 33–57.
- Somarriba, E., Carreño-Rocabado, G., Amores, F., Caicedo, W., Gillés, S., Cerda, R., Ordóñez, J. (2018) Trees of farms for livelihoods, conservation of biodiversity and carbón storage. Evidence from Nicaragua on this Invisible resource. In: Montagnini, F. (Ed) Integrating landscapes: Agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty. *Advances in Agroforestry 12*, Springer International Publishing, Switzerland.
- Soni, M., Subbulakshmi, V., Yadava, V., Tewari J, Dagar J (2016) Silvopastoral agroforestry systems: Lifeline for dry regions. In: Dagar J, Tewari, J. (Eds) Agroforestry research developments. Nova Science Publishers, New York.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., De Haan, C. (2006) Livestock's long shadow: environmental issues and options. FAO, Rome.
- Thornton, P.K., Herrero, M. (2010) Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Science*, 107(47):19667–19672.
- Vallejo, V.E., Roldán, F., Dick, R.P. (2010) Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. *Biology and Fertility of Soils*, 46(6):577–587.
- Vallejo, V.E., Averly, Z., Terán, W., Lorenz, N., Dick, R.P. & Roldán, F. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 139–148. doi: 10.1016/j.agee.2012.01.022
- Vandermeulen, S., Ramírez-Restrepo, C., Beckers, I., Claessens, H., Bindelle, J. (2018) Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. *Animal Production Science*, 58:767–777.



Anexos

Anexo 1: Métodos y métricas

El modelo TIPI-CAL de la red *agri benchmark* fue usado para la simulación de un periodo de diez años de introducción de SSP. TIPI-CAL es un modelo productivo y económico, y una herramienta de evaluación. Tiene una estructura dinámica-recurrente de 10 años y genera un estado de pérdidas y ganancias, un balance y un flujo de caja para la granja completa, y todas las empresas consideradas para cada 10 años de simulación. Además, provee información muy detallada a nivel de actividad, eficiencia y productividad de las empresas tales como tamaño de hato, producción por lactancia, peso de los animales, raciones alimenticias, mortalidad, ganancia de peso, etc. Para este proyecto y en contraste con el procedimiento estándar, se modelaron granjas reales en lugar de fincas “típicas” para asegurar información precisa y consistente, y para asegurar la conexión con la información ambiental y de bienestar animal relacionada. En algunos casos, debido a los requerimientos del proyecto los periodos de análisis pasaron de 10 a 20 años.

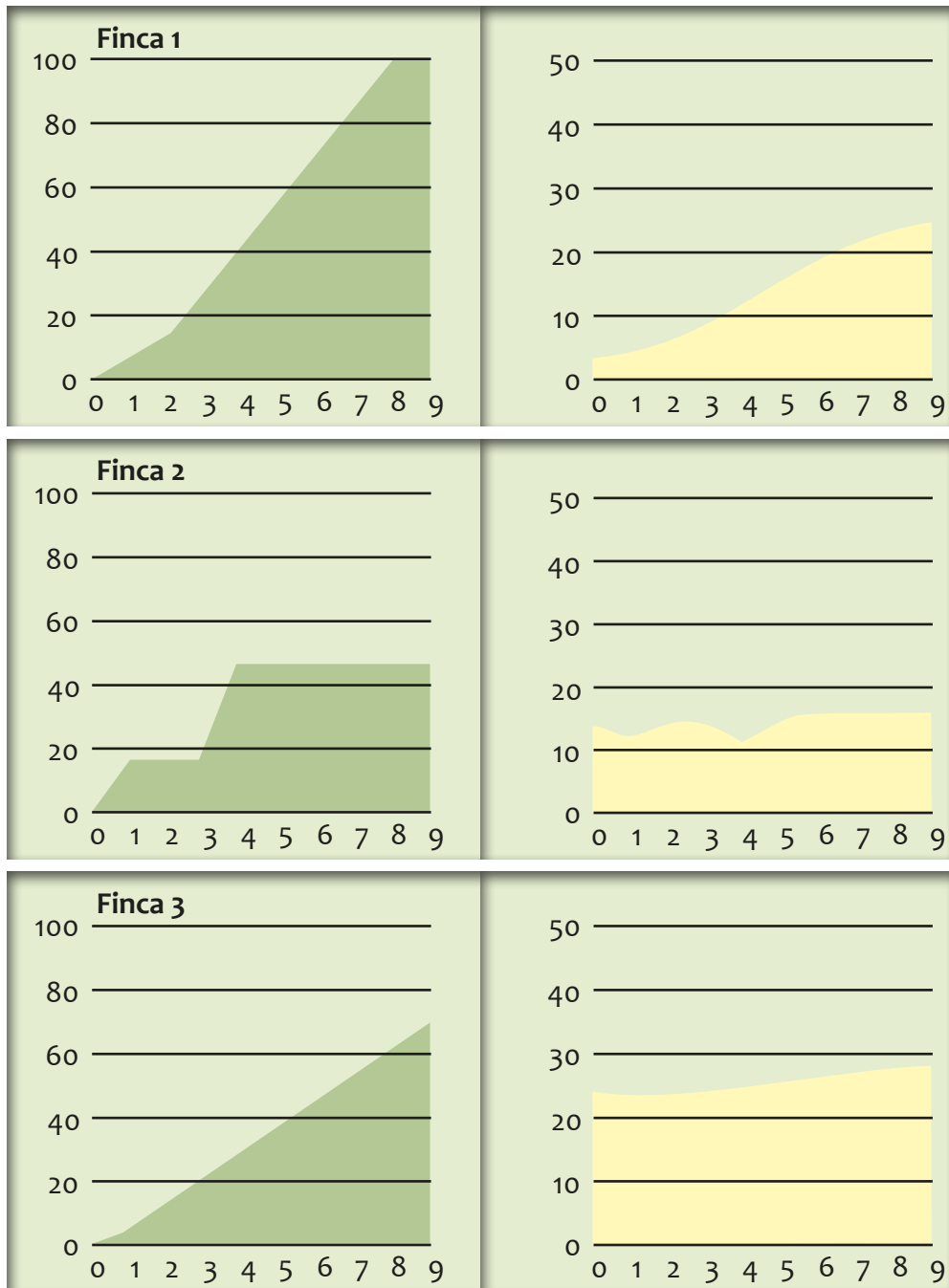
Los datos ambientales de cada una de las granjas analizadas fueron aportados por CIPAV. Esta institución ha estudiado sistemas de producción agropecuaria para la región tropical. CIPAV ha colectado información histórica y medido los efectos de la adopción de SSP sobre diferentes variables productivas y ambientales. La información aportada por CIPAV fue confirmada por cálculos de emisiones de gases de efecto invernadero usando un módulo adicionado del modelo TIPI-CAL.

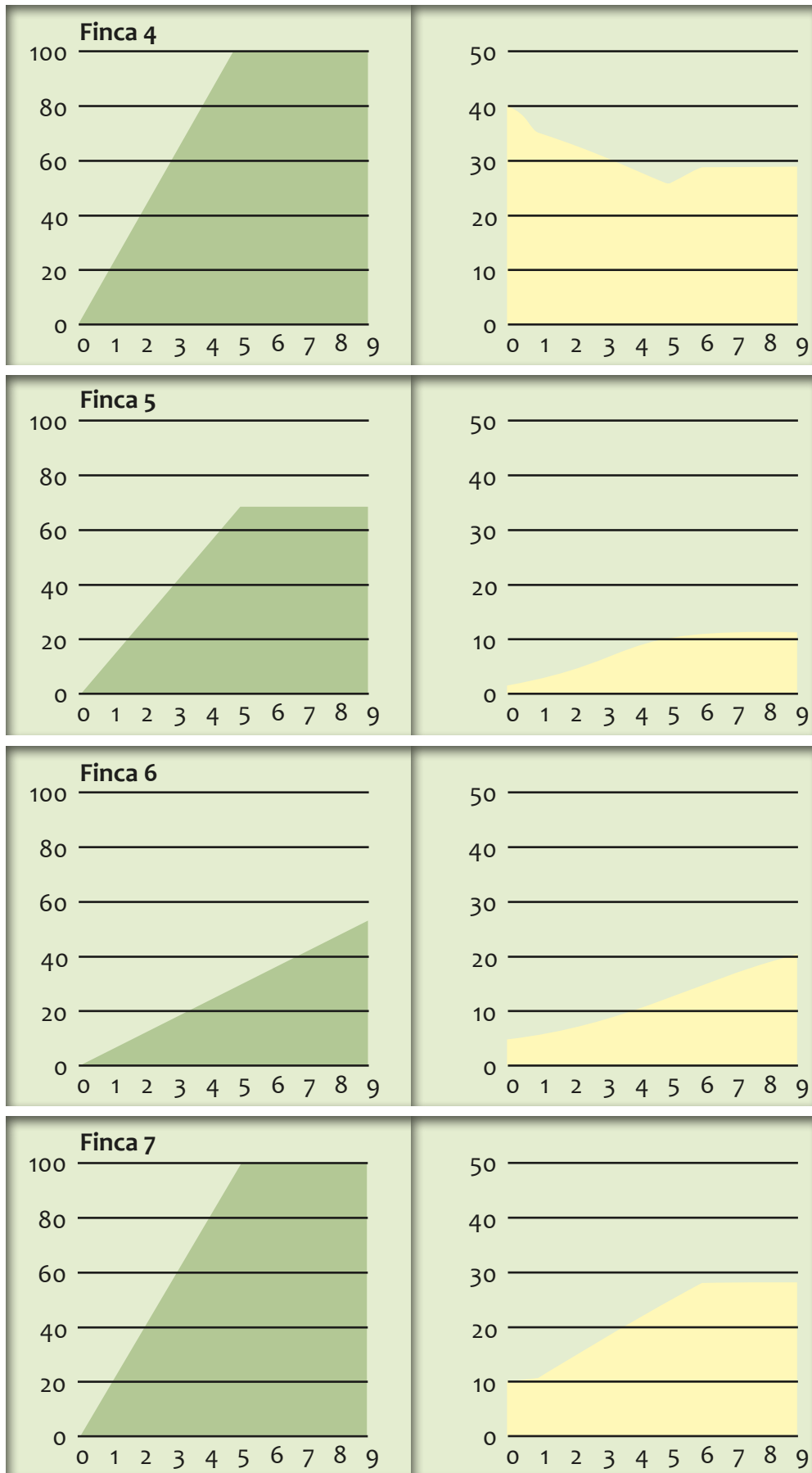
Las evaluaciones de bienestar animal fueron desarrolladas inicialmente por investigadores de World Animal Protection, en colaboración con el experto independiente Prof. Donald Broom. Un consultor independiente de Good Food Futures Ltd. completó las evaluaciones de bienestar animal usando estos protocolos.

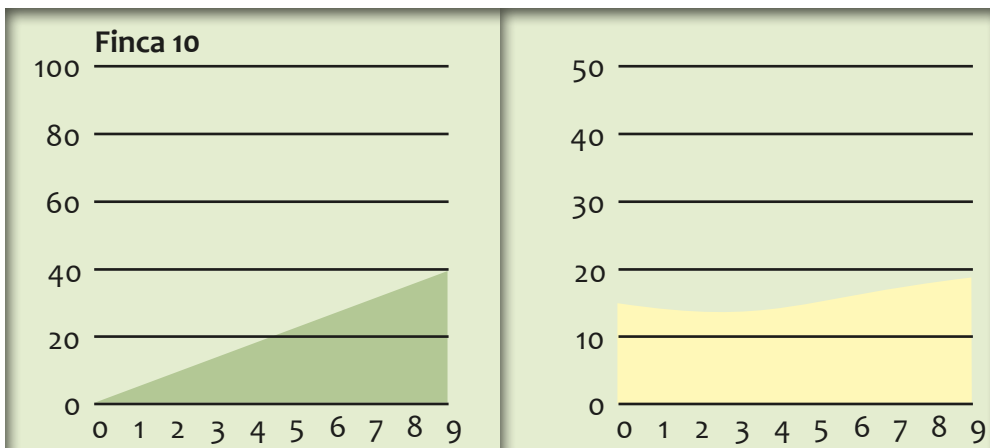
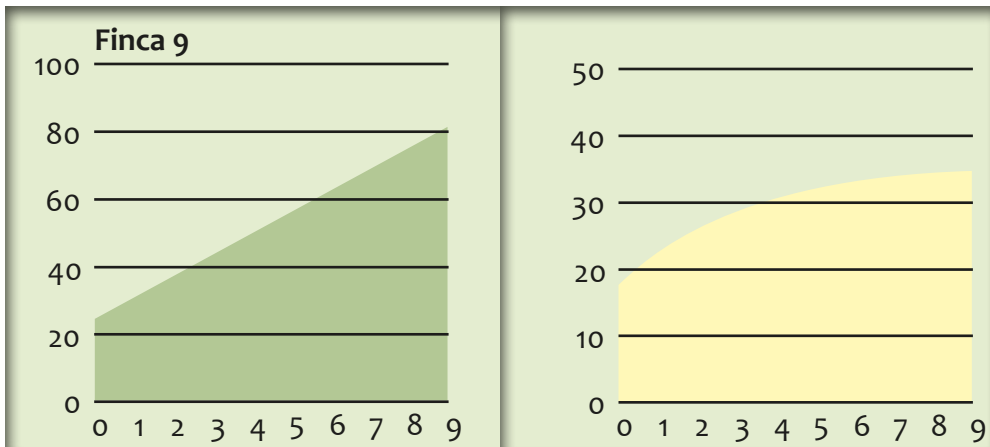
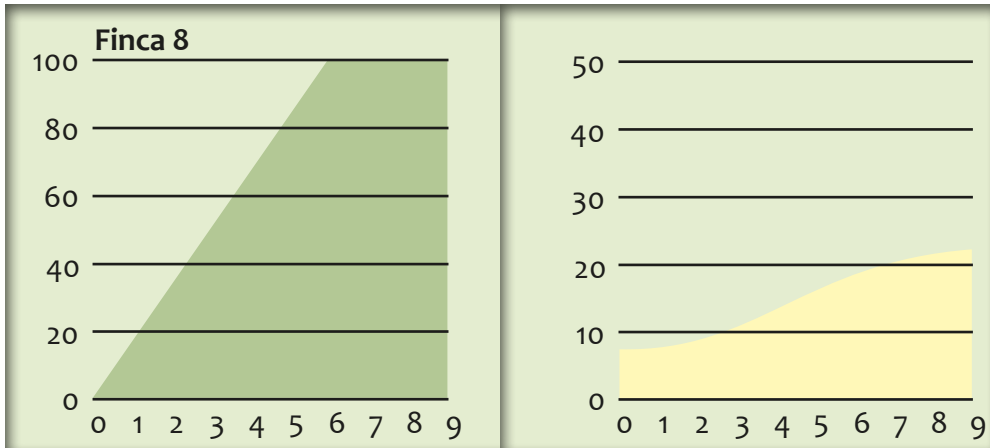
El método usado en el campo dio una mirada concisa e integral del bienestar animal. Se usaron medidas objetivas de bienestar animal basadas en resultados tales como la condición corporal, y ambiental como la provisión de agua y sombra. Las medidas de comportamiento fueron adaptadas y simplificadas a partir de métodos globalmente reconocidos desarrollados por *Welfare Quality* (Botreau et al. 2009) y *Assurewel* (Assurewel Project 2017), que reflejan buena alimentación, alojamiento, salud y buen comportamiento.

Anexo 2: Cambios en los principales indicadores a lo largo del tiempo

Figura A2.1 Cambio en el tiempo en la proporción (%) del área de la finca convertida a producción de SSP (izquierda) y MS (Mg) por hectárea del área total de la finca (derecha)







El año 0 es el año en que se introduce el ganado



Reserva Natural El Hatico. Valle del Cauca, Colombia. Foto M. Kohut-WAP.

Figura A2.2 Evolución de la producción de forraje, productividad de la tierra y rentabilidad en relación con los valores de línea base

Finca 1	Colombia, Cesar / Sistema prod. carne / Área: 200 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	129	177	254	349	445	540	636	696	731
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	100	149	218	331	468	599	732	813	943
Rentabilidad Ingresos-costos	100	-18	-19	-81	-31	84	218	356	560	969

Finca 2	Colombia, Valle del Cauca / Sistema prod. doble propósito / Área: 39 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	87	100	104	80	104	112	112	112	112
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	107	110	124	136	152	173	182	204	218
Rentabilidad Ingresos-costos	100	-2 336	-416	84	-1 247	1 778	2 688	3 648	4 798	5 491

Finca 3	Colombia, Valle del Cauca / Sistema prod. lechería / Área: 135 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	99	99	101	104	107	109	112	115	117
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	103	109	113	123	130	135	138	145	152
Rentabilidad Ingresos-costos	100	173	199	204	281	360	477	558	677	773

Finca 4	Colombia, Quindío / Sistema prod. lechería / Área: 76 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	87	81	75	69	64	71	71	71	71
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	121	141	163	180	195	212	212	212	212
Rentabilidad Ingresos-costos	100	114	152	231	275	306	355	398	393	404

Finca 5	Colombia, Valle del Cauca / Sistema prod. Cría de ganado / Área: 45 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	158	288	419	549	680	753	753	753	753
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	100	200	414	657	886	1 100	1 214	1 214	1 214
Rentabilidad Ingresos-costos	100	73	78	129	154	192	221	239	245	252

Finca 6	Colombia, Caqueta / Sistema prod. doble propósito / Área: 200 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	111	138	181	225	269	313	356	400	444
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	108	144	191	263	355	517	605	741	947
Rentabilidad Ingresos-costos	100	-35	-132	-298	-269	-245	-75	61	271	609

Finca 7	México, Michoacán / Sistema prod. Lácteos tropicales / Área: 50 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	110	143	179	214	250	278	278	278	278
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	117	166	219	267	334	394	393	413	413
Rentabilidad Ingresos-costos	100	-228	-424	-258	-162	-126	69	218	492	949

Finca 8	México, Michoacán / Sistema prod. carne / Área: 60 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	99	115	146	177	208	240	271	287	287
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	144	212	321	433	547	659	742	784	784
Rentabilidad Ingresos-costos	100	-27	136	352	568	822	970	1 219	1 316	1 316

Finca 9	Argentina, Misiones / Sistema prod. silvicultura + carne / Área: 240 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	133	156	171	183	193	197	200	203	205
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	235	321	386	431	469	495	523	552	565
Rentabilidad Ingresos-costos	100	118	134	154	173	189	248	267	283	299

Finca 10	Argentina, Corrientes / Sistema prod. silvicultura + carne / Área: 950 ha									
	Línea base	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
Producción de forraje MS/Ha	100	96	93	89	95	102	108	114	121	127
Productividad de la tierra Leche/Carne/Ha	100	100	95	92	87	108	121	140	154	174
Rentabilidad Ingresos-costos	100	65	42	36	-60	-18	-14	36	50	102





Estancia La Pendiente. Misiones, Argentina. Foto J. Chará.

Fotos contraportada:

1. SSP con Pino Híbrido. Corrientes, Argentina. Foto C. Durana
2. Establecimiento El Molino. Misiones, Argentina. Foto J. Chará.
3. Finca Camaguey. Meta, Colombia. Foto A. Galindo.
4. Finca El Volga. Caquetá, Colombia. Foto J. Chará.



El conocimiento es de todos

Minciencias



ISBN: 978-958-9386-94-1



9 789589 1386941