Manejo de sistemas productivos

Artículo de revisión

Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión

Indicators associated to pastures sustainability: a review

Pablo Andrés Motta-Delgado,[1*] Hernán Eduardo Ocaña Martínez,[2] Erika Paola Rojas-Vargas[3]

[1] Investigador, Misión Verde Amazonia: Corporación para el Desarrollo Sostenible y Mitigación de Cambio Climático, Grupo GIEDES. Florencia, Colombia. Correo: pmottamvz@gmail.com. Orcid: http://orcid.org/0000-0001-8820-5542
[2] Docente, Universidad de la Amazonia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Florencia, Colombia. Correo: h.ocana@udla.edu.co. Orcid: http://orcid.org/0000-0003-3235-886x
[3] Investigadora, Misión Verde Amazonia: Corporación para el Desarrollo Sostenible y Mitigación de Cambio Climático, Grupo GIMCCA. Florencia, Colombia. Correo: rojasvargasmva@gmail.com. Orcid: http://orcid.org/0000-0003-4654-9368

Editor temático: Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Fecha de recepción: 04/06/2017
Fecha de aprobación: 18/02/2019

Para citar este artículo: Motta-Delgado, P. A., Ocaña Martínez, H. E., & Rojas-Vargas, E. P. (2019). Indicadores asociados a la sostenibilidad de pasturas: una revisión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *20*(2), 387-408

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1464

Esta licencia permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de la obra de modo no comercial, siempre y cuando se dé el crédito y se licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

* Calle 20 No. 11-04 Barrio la Consolata

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Resumen

Las pasturas son ecosistemas antropizados que ofrecen recursos alimenticios de bajo costo, principalmente para la alimentación de rumiantes, siendo la base para la producción y los medios de vida en muchas zonas rurales del mundo. La producción basada en pasturas tiene importancia por las implicaciones sociales, ambientales y económicas. Aquí la aplicación de la sostenibilidad juega un papel destacado, porque permite satisfacer tanto las necesidades de las generaciones presentes como las de las futuras. Los objetivos del presente artículo de revisión fueron los siguientes: presentar el avance y la aplicación del concepto de sostenibilidad enfocado en pasturas, y relacionar indicadores para la medición de sostenibilidad en pasturas del trópico. Este artículo describe la sostenibilidad, los indicadores para la medición de la sostenibilidad, las pasturas en el trópico húmedo de la Amazonia, la sostenibilidad aplicada a las pasturas y, finalmente, los indicadores y las métricas para evaluar la sostenibilidad en pasturas. En conclusión, una pastura sostenible debe proporcionar beneficios al suelo, las plantas y los animales, así como proveer medios de vida a la familia gestora del sistema mediante prácticas de manejo adecuadas, que permitan la resiliencia del sistema de pastura y conserven o mejoren los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras.

Palabras clave: agroforestería, medios de vida, producción pecuaria, productividad, sistemas silvopascícolas, sostenibilidad

Abstract

Pastures are anthropogenic ecosystems that offer low-cost food resources mainly for feeding ruminants, being the base for production and livelihoods in many rural areas worldwide. Pasturebased production is important for the social, environmental and economic implications where sustainability plays a prominent role because it meets both the needs of present and future generations. The aims of this review article were the following: to show the progress and application of the sustainability concept focused on pastures, and to relate indicators for the measurement of pasture sustainability in the tropics. This article describes the sustainability, the indicators for sustainability, the pastures in the humid tropics of the Amazon region, the sustainability applied to pastures, and finally, provides indicators and metrics to evaluate sustaina-bility in pastures. In conclusion, a sustainable pasture must provide benefits to the soil, the plants, and the animals, as well as provide livelihoods to the family that manages the system through appropriate management practices that allow the resilience of the pasture system and the conservation or improvement of natural resources for present and future generations.

Keywords: agroforestry, livelihoods, livestock production, productivity, silvopastoral systems, sustainability

Introducción

La producción pecuaria tiene un impacto importante sobre los recursos naturales como son: agua, biodiversidad, suelo, etc.; la superficie de los bosques en el mundo se ha reducido en más de 40 millones de hectáreas desde el 2000, principalmente por la deforestación para establecer más pasturas (Sepúlveda, Ibrahim, Bach, & Rodríguez, 2011), que cubren más de 3,4 billones de hectáreas (Mahecha, Gallego, & Peláez, 2002), lo que equivale al 33 % de las tierras del planeta (Jose, Walter, & Kumar, 2017). En Latinoamérica, las pasturas constituyen el principal uso del suelo en sistemas de producción extensivos de monocultivo, donde más del 50 % del área presenta estados avanzados de degradación que afectan la sostenibilidad del sistema, y con tendencia del incremento del número de productores ganaderos (Sepúlveda et al., 2011).

Las pasturas son reconocidas por su contribución al ambiente, la recreación y la eficiencia en la producción de leche y carne, en las que la sostenibilidad es crucial en el sistema para mantener la rentabilidad y un ambiente amigable, mientras se producen alimentos de alto valor económico destinados a la alimentación humana (Shakoor, 2008).

Una pastura sostenible es aquella en la que, a largo plazo, se mejoran las condiciones de calidad ambiental y base de recursos del ecosistema, al tiempo que provee alimento para satisfacer las necesidades humanas de una forma económicamente viable y que mejora la calidad de vida de productores y consumidores (Sollenberger, 2008; Stewart, Lal, & El-Swaify, 1991). La producción sostenible en sistemas agropecuarios es esencial para la vida humana, ya que siempre se necesitará de alimentos para la población creciente; por eso, es preciso cuidar el suelo y evitar su degradación o desertificación progresiva (Ramírez, Alvarado, Pujol, MaHugh, & Brenes, 2008).

La evaluación de la sostenibilidad ha utilizado una gran cantidad de indicadores que se centran en aspectos puntuales de las dimensiones económica, ambiental y social; no obstante, compilar todo lo relacionado con sostenibilidad puede reflejarse en pérdida de información (Londoño, 2015). Un indicador es una herramienta que permite la obtención de información sobre una realidad dada, mediante la síntesis de un conjunto completo de información, tanto de condiciones, como de procesos y del comportamiento de los sistemas (Gamboa-Tabares et al., 2009a).

La sostenibilidad se puede medir de manera parcial o global, como subsistema o sistema, respectivamente; si un subsistema es insostenible, también lo será el sistema que lo contiene (Fernández & Gutiérrez, 2013). En tal sentido, los indicadores son una herramienta para la toma de decisiones a cualquier escala, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema (García, Ramírez, & Sánchez, 2012).

Los objetivos del presente artículo de revisión fueron los siguientes: presentar el avance y la aplicación del concepto de sostenibilidad enfocado en pasturas, y relacionar indicadores para la medición de sostenibilidad en pasturas del trópico.

Método

En primer lugar, fue consultada literatura científica disponible, incluyendo artículos, libros, conferencias y tesis desde el primer documento publicado hasta el 2017, usando las siguientes bases de datos: Scopus, Springer Link, Science Direct, EBSCO host, Scielo y Google Scholar, para los términos en inglés *sustainability, sustainable agroecosystem, sustainable pasture y sustainable grassland*. Además, se realizaron consultas sobre indicadores de sostenibilidad en pasturas y agroecosistemas, pasturas tropicales, pasturas en la Amazonia, así como los componentes principales de las pasturas destinadas a la producción bovina y la interacción de sus componentes.

Los criterios para la inclusión de la bibliografía a la presente revisión fueron los siguientes:

- Que el tema de los documentos fuese sobre sostenibilidad de agroecosistemas o pasturas.
- Que presentara indicadores o evaluaciones de la sostenibilidad en agroecosistemas o pasturas.
- Que abordara temas relacionados con la implantación, producción o degradación de pasturas en la Amazonia.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Desarrollo del tema

Para los efectos de presente artículo, se empleó el término *sostenibilidad* y no *sustentabilidad*, porque, pese a los avances epistemológicos en su definición, el empleo del segundo término, para referirse a la esencia del bienestar económico, social y ambiental, es ambiguo y muchas veces mal empleado. No obstante, según lo descrito por Fernández y Gutiérrez (2013), el término adecuado para abordar los asuntos concernientes al bienestar social, económico y ambiental de las generaciones presentes y futuras es *sostenible*, puesto que el término *sustentable* se deriva de una inadecuada traducción del inglés al castellano, que no atiende el deterioro ambiental y social que se genera, además de que no pueden considerarse como términos sinónimos, pese a que en América Latina se tiene un uso indistinto de ambos términos.

En el presente artículo, el término *indicador* se refiere a la cualidad o concepto esencial en los componentes de la sostenibilidad, mientras que el término *métrica*, por el contrario, hace referencia a una propiedad específica del sistema que puede ser directamente medida (Smith et al., 2017), que puede ser entendida como una variable de medición.

Se incluyeron 78 referencias bibliográficas, de las cuales 22 (28,21 %) fueron publicadas entre el 2013 y el 2017; 37 (47,44 %), entre el 2008 y el 2012, y 19 (24,36 %) fueron publicadas antes del 2007. El idioma predominante de las referencias es el español, con 46 (58,97 %) artículos, seguido por el inglés, con 24 (30,77 %), y el portugués, con 8 (10,26 %).

Una vez consultadas cinco diferentes bases bibliográficas (tabla 1) para todas las áreas del conocimiento, incluyendo todas las publicaciones disponibles (artículos, libros y conferencias) desde el primer documento publicado hasta la fecha, el promedio de publicaciones recuperadas que han mencionado *sostenibilidad* es de 214.857, que representaría un 100 % dentro del muestreo; sin embargo, pese al elevado volumen publicado, solo el 7,96 % contiene el término *sostenible* en el título. No obstante, es más desconcertante el hecho de que el término *agroecosistema sostenible* (*sustainable agroecosystem*) solo represente el 1,64 % y el 0,004 % de las publicaciones con el término *sostenibilidad* contenido en el documento y el título, respectivamente.

Tabla 1. Número de publicaciones en bases bibliográficas científicas sobre sostenibilidad, agroecosistemas sostenibles y pasturas sostenibles

Término/ Base datos	Tipo búsqueda	Springer link	Scopus	Science Direct	SciELO	EBSCO host	Promedio	%
Sustainability	Documento completo	286.139	430.374	154.933	3.502	199.335	214.857	100
	En el título	9.612	31.194	6.562	706	37.394	17.094	7,96
Sustainable agroecosystem	Documento completo	1.888	10.033	5.593	24	104	3.528	1,64
	En el título	3	17	11	-	16	9	0,004
Sustainable pasture	Documento completo	14.879	24.832	13.780	79	85	10.731	4,99
	En el título	1	52	15	1	19	18	0,01
Sustainable grassland	Documento completo	14.889	35.683	13.695	23	499	12.958	6,03
	En el título	1	46	9	-	21	15	0,01

Fuente: Elaboración propia

Pese a lo que se pudiese pensar, los términos *sustainable pasture* y *sustainable grassland* empleados para referir la sostenibilidad de las pasturas son más frecuentes en las publicaciones que el término *sustainable agroecosystem*; sin embargo, las cifras no son las mejores, puesto que los términos solo representan el 0,01 % con respecto a las publicaciones de sostenibilidad.

Concepto de sostenibilidad

El concepto de sostenibilidad es una corriente de pensamiento occidental reciente con implicaciones éticas, políticas, ambientales, económicas y tecnológicas (Gamboa-Tabares et al., 2009b). En tal sentido, dicho concepto surgió inicialmente ligado a un enfoque puramente económico en el que se quería complementar con aspectos medioambientales (Espinola, Plá, Montañez, Leyva, & Cáceres, 2017). En consecuencia, por el negativo impacto ambiental, social y cultural de ciertas prácticas de la agricultura moderna, se ha planteado la necesidad de cambio a un modelo más sostenible (Sarandón & Flores, 2009).

Existen diferentes niveles de análisis del concepto de sostenibilidad: es muy distinto hablar de un sistema de producción sostenible que de un ecosistema sostenible o una sociedad sostenible (García, Bienvenido, & Flores, 2009), el sistema de producción sostenible conserva los recursos de la tierra, el agua, las plantas y animales (agronómicamente eficientes); no degrada el medio ambiente (ambientalmente adecuado); además, es técnicamente apropiado, económicamente viable, socialmente justo y basado en un método científico holístico, en el que el medio ambiente y sus recursos naturales son la base de la actividad económica, garantizando la satisfacción de las necesidades humanas presentes y futuras (Bonnefón, 2016; Dias-Filho, 2011).

Para Espinola et al. (2017), la sostenibilidad tiene tres pilares o dimensiones básicos: el ambiental, el social y el económico (figura 1). Para que una actividad sea sostenible, ha de cumplir simultáneamente con varios objetivos: ser ambiental, social y económicamente sostenible a lo largo del tiempo. No se puede considerar sostenible si cumple ciertos aspectos y falla en otros, *per se* la sostenibilidad es indivisible; por lo tanto, deben confluir la sostenibilidad de los tres pilares (Casas-Cázares, González-Cossio, Martínez-Saldaña, García-Moya, & Peña-Olvera 2009; Rinehart, 2010; Sarandón & Flores, 2009; von Bernard, 2006).

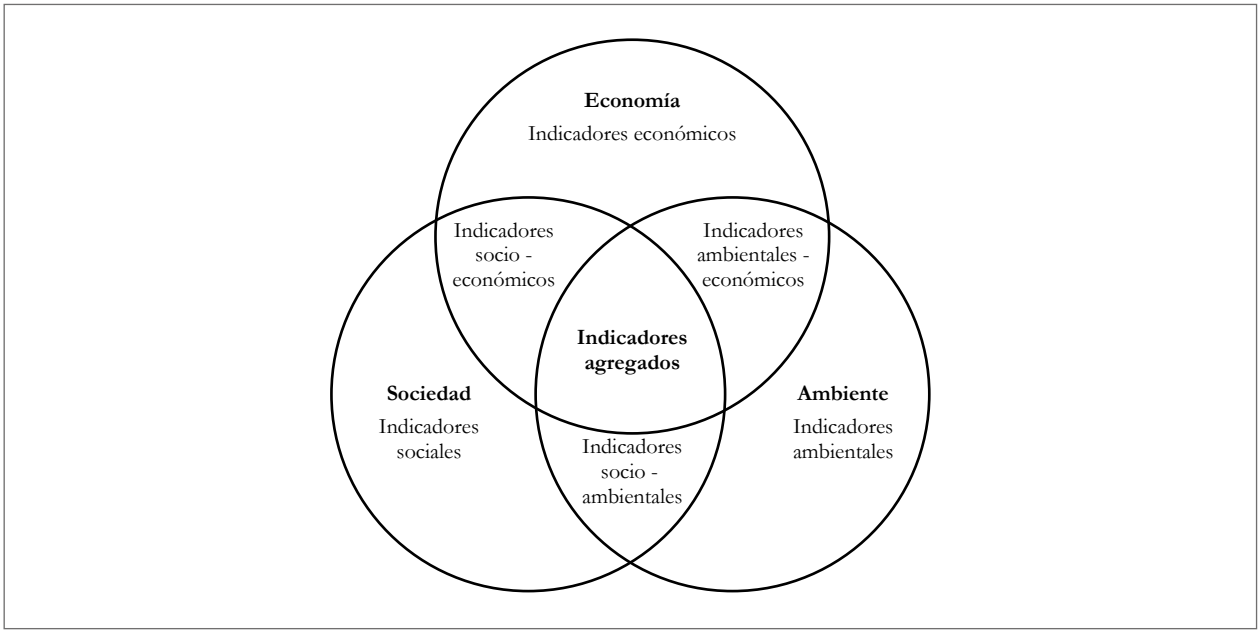

Figura 1. Indicadores a tener en cuenta en mediciones de sostenibilidad.
Fuente: Modificado de Larrea (2011)

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

La sostenibilidad demanda una nueva lectura y una adecuación del territorio a las necesidades humanas, mediante su adecuada gestión, conociendo primero y utilizando después los recursos ambientales, económicos, sociales, culturales y paisajísticos (Romero, 2009). Además, la sostenibilidad en los sistemas agrícolas está influenciada por muchos factores: biofísicos, económicos, sociales y políticos (Kroff, Bouma, & Jones, 2001), que deben involucrar una reducción de las entradas externas y promover la autosuficiencia interna (Tellarini & Caporali, 2000).

Indicadores para la medición de la sostenibilidad

Los indicadores se consideran instrumentos en procesos de decisión y seguimiento; además, se definen como parámetros que identifican y proporcionan información, que pueden ser cualitativos o cuantitativos y que permiten cuantificar y simplificar un fenómeno o proceso (Sánchez-Fernández, 2009). Los indicadores son percibidos como instrumentos analíticos que facilitan la medición de los cambios por los que atraviesa un sistema, además de ser herramientas que guían y permiten tomar decisiones sobre cómo usar los recursos naturales, económicos y sociales (García et al., 2009).

Los indicadores representan importantes herramientas para la comunicación científica y técnica, ya que pueden facilitar el acceso a esta por parte de diferentes grupos de usuarios. García et al. (2012) y Sánchez-Fernández (2009) sostienen que, para evitar sobrecarga de información, los indicadores deben ir dirigidos a un tema y desarrollados en un marco de evaluación, porque la falta de enfoque no permitirá darle solución al problema. Por lo tanto, los indicadores deben cumplir con una serie de requisitos:

- De fácil medición.
- Integradores.
- Fáciles de entender.
- Capaces de describir procesos en el agroecosistema.
- Significativos al concepto de sostenibilidad de los agroecosistemas analizados.
- Sensibles a los cambios del sistema (manejo, clima, plagas y perturbaciones).
- Analizables en relación con otros indicadores.
- La recolección de información no debe ser difícil ni costosa.
- Los productores y técnicos deben participar en su diseño y medición.
- Las medidas deben poder repetirse a través del tiempo.

Asimismo, los indicadores no necesitan cubrir toda la base de recursos y todos los elementos de la operación de un sistema; la estrategia es saber seleccionar los indicadores más importantes y sensibles en los tres pilares de la sostenibilidad y, de acuerdo con Sánchez-Fernández (2009), emplear procesos estadísticos para definir indicadores sensibles al sistema en evaluación.

En tal sentido, la investigación científica requiere ir más allá de la visión reduccionista que prevalece en muchos investigadores y profesionales, hacia una visión holística y sistémica con abordaje multidisciplinario en lo productivo, ambiental, ecológico, social, cultural y económico (Bonnefón, 2016; Sarandón & Flores, 2009). Además, es preciso entender que no existe un conjunto de indicadores universales que puedan ser utilizados para cualquier evaluación de sostenibilidad, para lo cual se deben construir y adaptar nuevos esquemas y unidades de acuerdo con la situación en análisis y ser adecuados para los objetivos propuestos (Casas-Cázares et al., 2009; Sarandón & Flores, 2009). Tal es el caso del subsistema de pasturas en el trópico húmedo, que son ecosistemas intervenidos y que, por tanto, requieren de medición de la sostenibilidad ajustada a las condiciones reales. Teniendo en cuenta lo referido por Gamboa-Tabares et al. (2009a), es imperioso buscar modelos que permitan estimar la sostenibilidad de manera práctica.

Para Hazard et al. (2017), la sostenibilidad solo puede ser evaluada *in situ* y su implementación es una fuente para la obtención de nuevo conocimiento. No obstante, según Sarandón y Flores (2009), la sostenibilidad se puede medir mas no comprobar,

ya que no existe un valor real de referencia contra el cual testar los resultados obtenidos, por lo que la coherencia interna del análisis es esencial, siendo necesario definir qué es lo bueno y lo malo para la sostenibilidad.

En la medición de la sostenibilidad se distinguen dos enfoques metodológicos: el sistémico y el conmensuralista. El primero refiere a la elaboración de un grupo de indicadores que, en su conjunto, pueden arrojar tendencias o principales procesos que se desean comprender en la toma de decisiones; el segundo, implica agregar una serie de variables de diversa índole dentro de un solo indicador, utilizando una escala común de valor o contabilización a través de la construcción de índices (Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente de Uruguay, 2010).

Pasturas en el trópico

Los recursos alimenticios locales en el trópico incluyen una gran variedad de alimentos, entre los que destacan, junto a las tradicionales gramíneas, los follajes de los árboles y arbustos leguminosos empleados como suplemento en la dieta, así como leguminosas rastreras. Desafortunadamente, no siempre se conoce su valor nutritivo, lo que es imprescindible para garantizar su adecuado empleo y lograr una producción animal sostenible (Martínez, Pedraza, Guevara, González, & León, 2009; Triana, Curbelo, & Loyola, 2017; Vásquez, 2008). No obstante, la gran variedad de forrajes disponibles para la alimentación de bovinos en el trópico, las de mayor impacto y diseminación son las gramíneas del género *Brachiaria* (Juárez-Hernández & Bolaños-Aguilar, 2007).

Pero ¿qué se entiende por pastura? La pastura es tipificada por tener una composición botánica mixta, al incluir comunidades de plantas en las que las gramíneas (Poacea) son las especies dominantes, con especies herbáceas dicotiledóneas (Magnoliopsida) presentes en varias cantidades, y para zonas tropicales en asocio con plantas mono y dicotiledóneas, como leguminosas, arvenses, árboles y arbustos, de acuerdo con las condiciones agroecológicas del clima, fertilidad del suelo, presión de pastoreo, plagas y necesidades del ganado; además, se consideran las pasturas mejoradas como aquellas que han sido sembradas a partir de especies seleccionadas (Canto et al., 2010; Dignam et al., 2016; Sierra, 2005).

Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar (2007) afirman que los pastos empleados en las regiones tropicales pueden ser clasificados por el tipo de suelo en donde se pueden utilizar, teniendo gramíneas para suelos inundables, suelos no inundables y suelos de baja fertilidad. Asimismo, estos autores refieren que, dada su plasticidad e importancia económica, los géneros más difundidos son *Brachiaria, Panicum* y *Paspalum*.

Algunos ejemplos de gramíneas para suelos inundables son *Brachiaria arrecta*, *B. humidicola*, *B. mutica*, *Echinochloa polystachya*, entre otras. Para suelos no inundables, se destacan *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *Cynodon dactylon*, *C. nlemfuensis*, *C. plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa*, *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum* (pasto elefante). Para suelos de baja fertilidad existen los géneros *Axonopus*, *Brachiaria*, *Hyparrhenia* y *Paspalum* (Juárez-Hernández & Bolaños-Aguilar, 2007).

Pasturas en el trópico húmedo de la Amazonia

Para la Amazonia, el área de pasturas cultivadas es superior a los 90 millones de hectáreas, donde más del 50% presenta algún grado de degradación (Silva et al., 2017). De acuerdo con Townsend, Costa y Pereira (2010) y Neves-Neto, dos Santos y Neto (2012), las pasturas cultivadas constituyen, después del bosque, el principal uso de la tierra en el bioma amazónico, constituyéndose en sistemas complejos formados por los componentes suelo-planta-animal, sujetos a modificaciones antrópicas a través de su manejo (figura 2), con introducción de gramíneas de los géneros *Andropogon*, *Brachiaria*, *Hyparrhenia*, *Panicum*, *Pennisetum* y *Setaria*, y con menor frecuencia leguminosas de los géneros *Arachis*, *Cajanus*, *Centrosema*, *Desmodium*, *Leucaena*, *Pueraria* y *Stylosanthes*.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

En la Amazonia, la principal base de alimentación del ganado son las pasturas cultivadas, con predominio de las pasturas del género *Brachiaria*, con una alta diseminación de la *B. brizantha*, una de las gramíneas más adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la Amazonia (Guedes, Fernandes, Lima, Gama, & da Silva, 2009; Sarmento, Veiga, Rischkowsky, Kato, & Siegmund-Schultze, 2010). No obstante, existen trabajos de investigación con pasturas de los géneros *Axonopus*, *Cynodon* y *Paspalum* asociados a sistemas silvopastoriles (Castro et al., 2008; da Veiga & da Veiga, 2004).

La implementación de pasturas en la Amazonia (figura 3) sigue un diseminado sistema tradicional de tala y quema del bosque (Lindell, Åström, & Öberg, 2010), siembra de maíz o arroz o cultivos de subsistencia y el establecimiento de pasturas introducidas (García, 2014; Sarmento et al., 2010; Townsend et al., 2010).

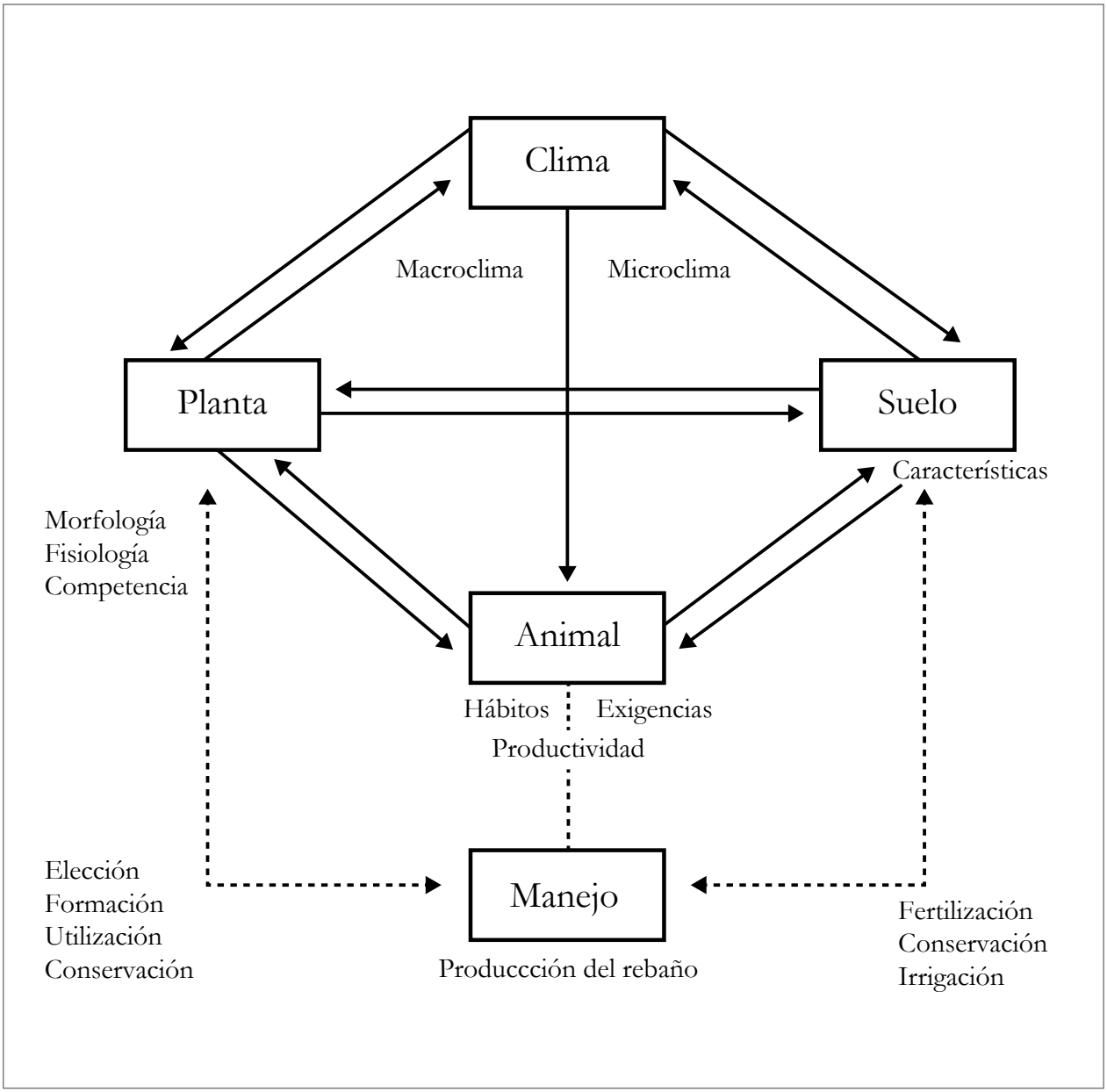

Figura 2. Representación esquemática de las interacciones en un ecosistema de pastura.
Fuente: Modificado de Nascimento-Junior (1998)

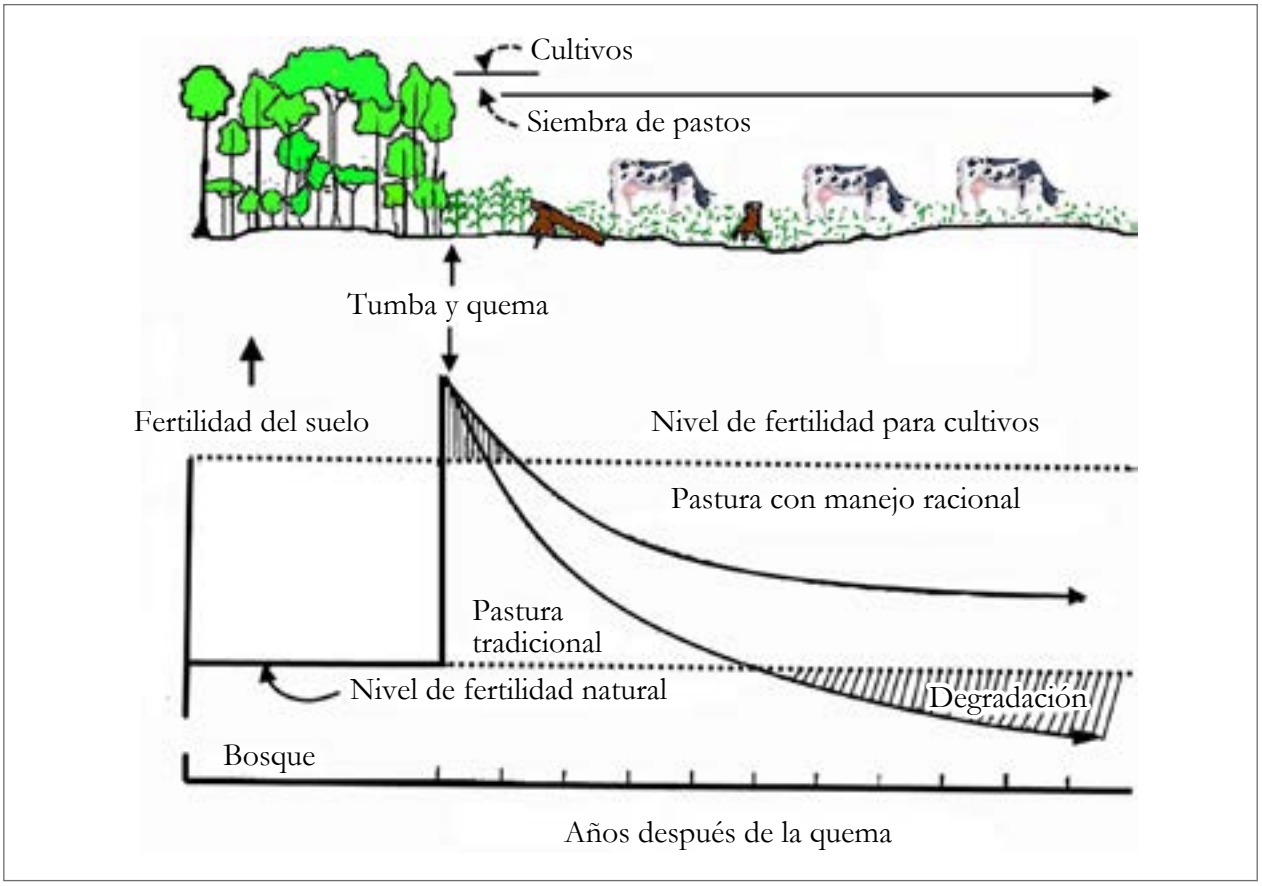

Figura 3. Proceso de conversión de bosques a pasturas en la Amazonia y su influencia en el suelo.
Fuente: Modificado de Townsend et al. (2010)

Rivas y Holman (1999) hallaron en el departamento del Caquetá, ubicado en la Amazonia colombiana, los siguientes tipos de pasturas: naturalizadas (*Axonopus compressus*, *Homolepsis aturensis*, *Paspalum notatum*), *Arachis pintoi* (maní forrajero, solo y en diferentes asociaciones), *Axonopus micay*, *A. scoparius* (pasto imperial), *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola*, *B. mutica* (pasto Pará), *B. plantaginea*, *B. radicans* (estas dos últimas conocidas en el área como braquipará), *B. ruziziensis*, *Digitaria decumbens* (pasto Pangola), *Hyparrhenia rufa* (pasto Jaragua), *Pennisetum purpureum* (pasto elefante), *Panicum maximum* (pasto India), *Pueraria phaseoloides* (kudzú), además de asociaciones entre brachiarias, y asociaciones de brachiarias con leguminosas rastreras como *A. pintoi*, *Desmodium* spp., y *Pueraria* spp. Asimismo, estos autores reportaron un incremento en las áreas dedicadas a la implementación de pasturas del género *Brachiaria* y la disminución de pasturas naturalizadas.

Sin embargo, el uso de prácticas de manejo inadecuadas, como las quemas, la implementación de praderas compuestas solo por gramíneas; la escasa utilización de árboles y arbustos para conservación de las características del suelo; las especies de pastos poco agresivos, de baja competencia, poco resistentes a la sombra, susceptibles a las plagas y de suelos pobres en nutrientes, generan baja sostenibilidad de las pasturas y baja productividad animal en la Amazonia (Grijalva, Ramos, & Vera, 2011).

No obstante la baja productividad de las gramíneas tropicales en la Amazonia, el uso de pasturas constituidas por especies forrajeras con el asocio de leguminosas implica aportes adicionales de nitrógeno y aumento de la calidad del pasto, favorece los

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

procesos de mineralización, incrementa la capacidad de soporte de la pradera y prolonga su capacidad productiva, mejorando el valor nutritivo de la pastura y la respuesta animal (Steinwandter et al., 2009). Además, las pasturas mejoradas en asocio con sistemas silvopastoriles son mejor opción que los sistemas tradicionales (extensivos y en monocultivo), desde el punto de vista de la productividad, de la contribución a la conservación de los recursos naturales y del bienestar de las familias, al reducir el impacto de la ganadería sobre el medio ambiente (Benavides, 2011).

La sostenibilidad aplicada a las pasturas

Para Shakoor (2008), la sostenibilidad de los agroecosistemas se refiere a la capacidad del sistema para mantener su productividad a pesar de las perturbaciones económicas y naturales, externas o internas, satisfaciendo las necesidades presentes sin perjudicar las generaciones futuras. La sostenibilidad está en función de la interrelación de las características naturales del sistema y las presiones e intervenciones que sufre, así como aquellas intervenciones sociales, económicas y técnicas que se hacen para contrarrestar presiones negativas, destacándose la resiliencia del sistema (Martínez-Castillo, 2009). En tal sentido, un agroecosistema sostenible es aquel que posee los siguientes atributos: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autosuficiencia (Larrea, 2011; Masera, Astier, & López, 1999).

Pese a que existen amplios y claros conceptos sobre la sostenibilidad de los sistemas de producción, la definición de pastura sostenible aún no es acorde al concepto de sostenibilidad. Por ejemplo, Sánchez y Ara (1991) son la referencia primordial y única en la definición de pasturas sostenibles para Castro (2013), Clavijo (2015), Ríos-Atehortúa (2010) y Sierra (2005), investigaciones que afirman que la sostenibilidad en las pasturas es la capacidad de dicho ecosistema para suministrar productos pecuarios en volúmenes altos y estables en el tiempo, que sean al mismo tiempo económicamente rentables y que no produzcan efectos negativos en el medio ambiente, sino que conserven o mejoren los recursos naturales para las generaciones futuras. Esto puede traducirse en la habilidad del sistema de mantener la productividad cuando es sometido a una fuerza disturbadora mayor como, por ejemplo, plagas, enfermedades, problemas de erosión, sobrepastoreo, etc.

Sin embargo, en la anterior definición no se incluyen los componentes social y tecnológico esenciales para alcanzar la sostenibilidad. De igual manera, Hogdson y Silva (2000) llamaron la atención de la necesidad de considerar la sostenibilidad en un sentido estricto, con énfasis en el mantenimiento de la productividad y de la estabilidad como metas principales de las prácticas de manejo idealizadas, si bien se restringe el entendimiento de la sostenibilidad a los pilares económicos y ecológicos propios de la productividad de las praderas.

Según Giraldo (1993), una pastura es sostenible cuando mantiene la cobertura y garantiza el reciclaje de nutrientes manteniendo la fertilidad del suelo; sin embargo, para Casimir y Rao (1998), una pastura es sostenible si existe equilibrio entre el primer nivel trófico (pastos), los consumidores del segundo nivel trófico (herbívoros) y los consumidores del tercer nivel trófico (humanos), donde las densidades poblacionales tanto de plantas y herbívoros permanezcan relativamente constantes y que el consumo no exceda la productividad primaria de las plantas. De igual manera, Sherren, Fischer, Clayton, Schirmer y Dovers (2010) manifiestan que una pastura sostenible debe contemplar prácticas que equilibrarán los objetivos de producción con los valores sociales y necesidades ecológicas; por tanto, los últimos dos autores abordan el concepto de manera más holística y adecuada al concepto de sostenibilidad.

Algunos autores consideran que una pastura sostenible es aquella basada en prácticas y tecnologías como la labranza y prácticas adecuadas del uso de la tierra (Zuazo, Pleguezuelo, Flanagan, Tejero, & Fernández, 2011); el pastoreo racional con eficiente combinación de días de ocupación y descanso (Jose et al., 2017; Osechas & Becerra, 2009); la combinación de gramíneas con leguminosas (Shelton, Franzel, & Peters, 2005); libre de arvenses, con resistencia a

las enfermedades y plagas (Shakoor, 2008; Smith, Winograd, Gallopin, & Pachico, 1998); con producción sostenida, resiliente y adaptable a diferentes situaciones ambientales (Volaire, Barkaoui, & Norton, 2014); con cargas animales ajustadas que eviten el sobrepastoreo y reduzcan la degradación (O'Reagain, Scanlan, Hunt, Cowley, & Walsh, 2014), y económicamente viables (Kato, 2014), donde los sistemas silvopastoriles son el camino a mejores principios de manejo sostenible (Jose et al., 2017).

Según lo planteado por Russo (2015), los Sistemas Silvopastoriles (SSP) son producto de la relación entre la biología, la sociedad y la cultura; sin embargo, la ambigüedad ha favorecido la aparición de "trampas discursivas" desplegadas a partir de conceptos complejos y densos como el de sostenibilidad. En tal sentido, algunos autores como González y Alcaraz (2013), Jose et al. (2017), Rueda et al. (2011) y Zepeda, Velasco, Nahed, Hernández y Martínez (2016) consideran a los SSP como sistemas de producción sostenible. Sin embargo, a pesar de que existen tecnologías como la agroforestería, en donde se enmarcan los SSP, estas son para el manejo sostenible (Wairiu, 2017); por tal razón, no se deben considerar los SSP como sistemas sostenibles, sino como herramientas para alcanzar la sostenibilidad de las pasturas y, por ende, de los agroecosistemas que los contienen.

En los sistemas de producción animal basados en praderas, tanto la producción de forraje como la persistencia de estas son factores importantes en la sostenibilidad de esos sistemas; la persistencia de las praderas depende de la capacidad de las plantas para renovar sus tallos muertos y mantener estable la densidad poblacional (Ramírez et al., 2011), así como la presión de pastoreo a la que es sometida. Sin embargo, Giraldo (1993) y Sánchez y Ara (1991) consideran que el componente más importante en la sostenibilidad de una pastura es el mantenimiento o mejoramiento de las características físicas y químicas del suelo. Por lo tanto, es necesario retornar al suelo los nutrientes removidos por la extracción animal, o por las pérdidas ocasionadas por el lavado y la erosión.

Además, la resiliencia es un factor esencial en la sostenibilidad. Esta se define como la capacidad del sistema de mantener la integridad o retornar a un punto de estabilidad luego de sufrir una alteración por causas internas o externas; de acuerdo con lo concluido por Anderies et al. (2002), un sistema resiliente depende fuertemente de parámetros ecológicos, económicos y de manejo. En tal sentido, las pasturas sostenibles deben conservar los recursos ecológicos como el suelo, agua y biodiversidad, además de mantener los niveles de ingresos al productor, que dependerán de la aplicación y apropiación de tecnologías y la intervención social en el manejo de las pasturas.

De acuerdo con Alves, Madari y Boddey (2017), la integración de sistemas forestales, pecuarios y agrícolas es una estrategia que permitirá alcanzar la sostenibilidad, porque generan sistemas más ecoeficientes, siendo necesario que en pasturas integradas se evalúen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente N_2O y CH_4.

Teniendo en cuenta que no hay una definición clara sobre una pastura sostenible, se consideró necesario proponer una, teniendo en cuenta las definiciones previamente expuestas y la percepción de los autores sobre dicho concepto.

Por lo tanto, una pastura sostenible es un ecosistema antropizado que debe proveer medios de vida, proporcionar tanto beneficios al suelo y a las plantas, como bienestar a los animales y la familia, a partir del uso y manejo racional del suelo, de modo que permita el reciclaje de nutrientes y evite su degradación biológica, para el suministro de productos vegetales y animales en volúmenes estables en el tiempo, con prácticas de manejo adecuadas (pastoreo racional Voisin), así como con la asociación de gramíneas, leguminosas, arbustos y árboles que permitan la resiliencia, productividad y estabilidad entre organismos productores y consumidores y, a la vez, conserven o mejoren los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras, proporcionando rentabilidad para asegurar los medios de vida y el bienestar de la familia (figura 4).

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

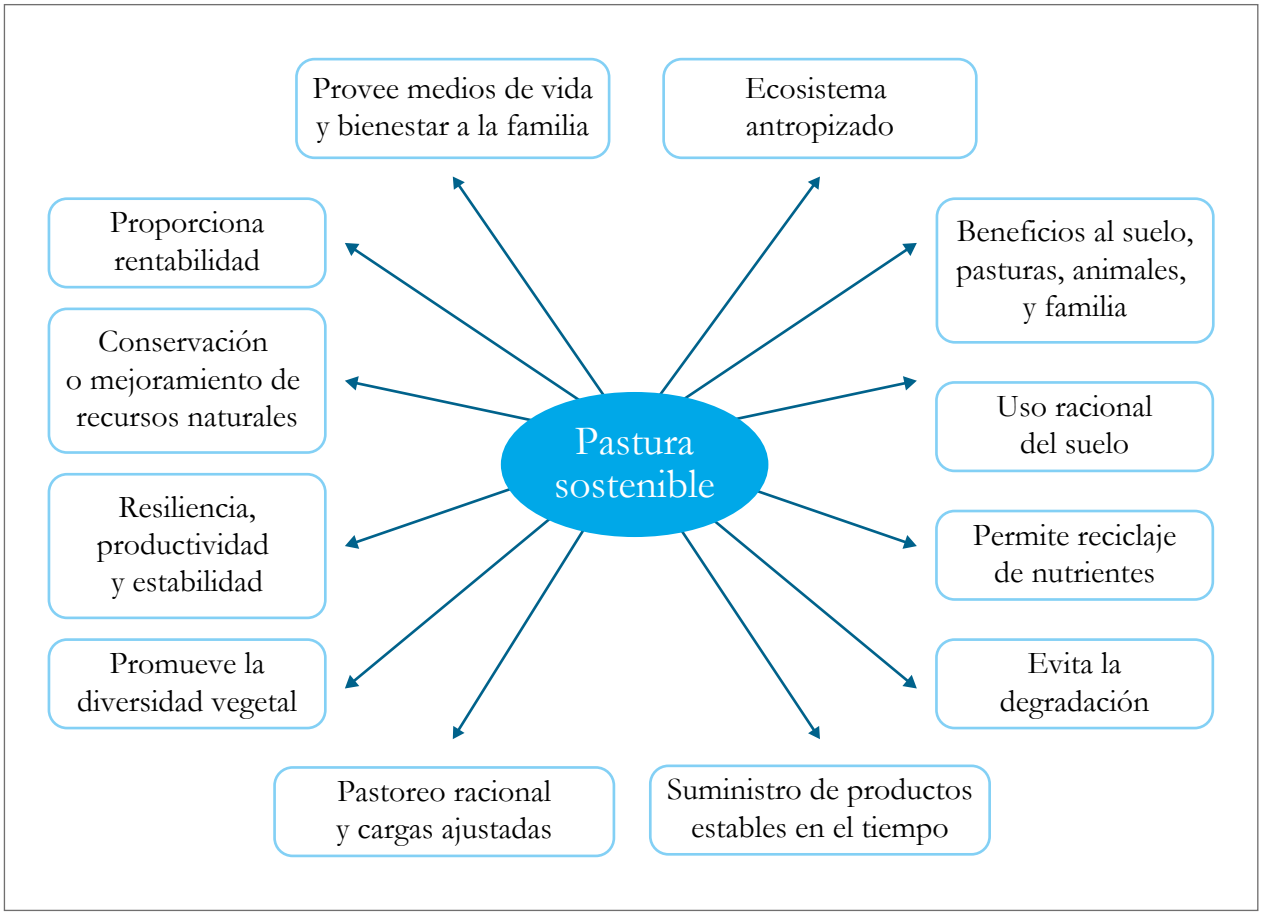

Figura 4. Características esenciales de una pastura sostenible.
Fuente: Elaboración propia

Indicadores y métricas para la evaluación de la sostenibilidad en pasturas del trópico húmedo

La consecución de la sostenibilidad es cada vez más difícil, requiriendo nuevas formas de pensar y realizar el trabajo de investigación en pasturas (Sollenberger, 2008). Según Gamboa-Tabares et al. (2009b), para abordar la evaluación de la sostenibilidad se debe tener en cuenta la multidimensionalidad, que cubre cuatro dimensiones principales: ecológica, económica, social y técnica. No obstante, de acuerdo con Smith et al. (2017), en años recientes se han elaborado métricas para la evaluación de la intensificación sostenible de agroecosistemas, basadas en cinco dominios: productividad, económico, ambiental, social y bienestar humano.

Teniendo en cuenta que la evaluación de la sostenibilidad en agroecosistemas debe remitirse a objetivos claros enmarcados en la necesidad de análisis y que a la fecha es frecuente que se confunda procesos como la implementación de sistemas silvopastoriles con una pastura sostenible, se propone el empleo de indicadores y métricas para la valoración de pasturas sostenibles en el trópico a partir de los dominios/dimensiones: productividad (tabla 2), económico (tabla 3), bienestar humano (tabla 4), ambiental (tabla 5) y social (tabla 6), basadas en la compilación realizada por Smith et al. (2017), para la evaluación de la intensificación sostenible de agroecosistemas. Además, se integran los indicadores propuestos por Domínguez-Hernández (2013), Gamboa-Tabares et al. (2009a), González (2009), Ramírez et al. (2008) y Tommasino, García, Marzaroli y Gutierrez (2012), adaptados con el enfoque a las pasturas.

Tabla 2. Indicadores y métricas de productividad para evaluar la sostenibilidad de pasturas en el trópico

Tipo de indicador	Métrica
Manejo alternativo de plagas	Empleo de productos biológicos en el control de plagas
Entradas biológicas	kg de entradas químicas reemplazadas
Producción de forraje	kg/ha biomasa producida
Calidad de forraje	Contenido nutricional del forraje
Diversidad	Riqueza de especies vegetales Diversidad de árboles nativos
Resiliencia	Habilidad de mantener la productividad bajo un rango de escenarios futuros modelados
Capacidad de carga	Número de animales/ha
Productividad	kg producto/animal/día kg producto/ha Coeficiente de variación
Manejo de la pradera	Acceso a asistencia técnica/año Aforos de pradera para ajustar carga animal Rotación de praderas, días de ocupación y descanso Aplicación de enmiendas (kg/ha/año) Aplicación de fertilizantes (kg/ha/año)

Fuente: elaboración propia con base en Domínguez-Hernández (2013), Gamboa-Tabares et al. (2009a), González (2009), Ramírez et al. (2008) y Smith et al. (2017)

De la tabla 2, algunos indicadores y métricas del dominio de productividad son compatibles con el dominio ambiental, como es el caso de la diversidad. Además, estos indicadores son equiparables con los indicadores de la dimensión técnica abordada por Gamboa-Tabares et al. (2009b).

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Tabla 3. Indicadores y métricas económicas para evaluar la sostenibilidad de pasturas en el trópico

Tipo de indicador	Métrica
Ingresos	Valor ($) producto – valor ($) costos Valor ($) producto/ha Ingresos neto leche o carne /ha/año
Costos	Costo de producción de materia seca (Mg)
Acceso a capital	Reporte del campesino en cambios de acceso a crédito Deuda predial total
Elecciones del hogar	Campesino reporta cambios en consumo del hogar
Productividad del capital	Beneficios/proporción de costos
Intensidad laboral	Tiempo del personal/ha Valor jornal Horas de trabajo/jornal
Productividad de la labor	Valor ($) producto/persona al día
Acceso a mercados	Distancia al mercado más cercano

Fuente: Elaboración propia con base en Gamboa-Tabares et al. (2009a), González (2009), Ramírez et al. (2008), Smith et al. (2017) y Tommasino et al. (2012).

De los indicadores y métricas relacionados en la tabla 3, elecciones del hogar es funcional para el dominio o dimensión social; de igual manera, productividad del capital es funcional para el dominio productividad.

Tabla 4. Indicadores y métricas de bienestar humano para evaluar la sostenibilidad de pasturas en el trópico

Tipo de indicador	Métrica
Autosuficiencia alimentaria	Producción calórica necesaria para el hogar suplida desde las pasturas
Reducción de labores	Reducción del tiempo promedio requerido para desempeñar la actividad
Calidad de vida	Reportes del campesino en cambios positivos o negativos en la salud de la familia o en la calidad de vida

Fuente: Elaboración propia con base en Smith et al. (2017)

De los indicadores y métricas relacionados en la tabla 4, la reducción del tiempo promedio requerido para la actividad de pasturas se debe ver reflejado en la autosuficiencia alimentaria, pues el tiempo liberado en una actividad debe permitir la inversión de tiempo en otras actividades de producción de alimentos diferentes a las pasturas.

Tabla 5. Indicadores y métricas ambientales para evaluar la sostenibilidad de pasturas en el trópico

Tipo de indicador	Métrica
Macroorganismos benéficos	Diversidad de polinizadores Población de organismos benéficos
Biodiversidad	Presencia y abundancia de especies indicadoras Diversidad funcional Diversidad de especies de árboles nativas Número de árboles/ha Estado de conservación/degradación
Calidad de agua	Coliformes fecales y totales Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) Contenido de sustancias tóxicas Acceso directo de animales

(Continúa)

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

(Continuación tabla 5)

Tipo de indicador	Métrica
Calidad del suelo	Materia orgánica (%) Densidad aparente del suelo Capacidad de Intercambio Catiónico Efectivo (CICE) = Ca + K + Mg + Na + Al % saturación de acidez (%SA) = Al/CICE × 100 Contenido de fósforo
Uso del fuego	El campesino menciona el uso del fuego para control de arvenses, plagas o renovación de pasturas
Degradación de la pastura	Nivel de degradación de pastura
Almacenamiento de carbono	t C/ha Carbono orgánico en suelo
Reducción de entradas químicos	kg de fertilizantes sintéticos reemplazados Número aplicaciones de pesticidas y herbicidas
Servicios ecosistémicos	Valor de los servicios ecosistémicos
Erosión	Nivel de erosión t suelo perdido/ha/año Campesinos reportan cambios sustanciales en el suelo
Degradación de la pradera	Nivel de degradación de la pradera
Emisión de gases de efecto Invernadero	t CO_2 equivalente

Al: aluminio

Fuente: Elaboración propia con base en Domínguez-Hernández (2013), Gamboa-Tabares et al. (2009a), González (2009), Ramírez et al. (2008), Smith et al. (2017) y Tommasino et al. (2012).

Tabla 6. Indicadores y métricas sociales para evaluar la sostenibilidad de pasturas en el trópico

Tipo de indicador	Métrica
Adopción	Adopción de prácticas adecuadas sobre total de tierra Concepción del pasto como cultivo Idiosincrasia cultural Percepción sobre árboles en la pastura
Empoderamiento	Índice de mujeres agrícolas empoderadas
Equidad	Distribución de toma de decisiones entre hombres y mujeres
Integración del conocimiento agrícola	Recepción de información Nivel de participación en espacios colectivos en general
Equidad de género	Distribución de labores entre hombres y mujeres
Acceso a información	Conectividad del campesino a redes de conocimiento Acceso a extensión y otros recursos Capacitación sobre manejo y tecnologías en praderas
Capital social	Conexión a redes sociales Miembro de organizaciones
Relevo generacional	Evidencia de continuidad con la actividad en el núcleo familiar y predisposición a permanecer en el predio

Fuente: Elaboración propia con base en Domínguez-Hernández (2013), Gamboa-Tabares et al. (2009a), González (2009), Ramírez et al. (2008), Smith et al. (2017) y Tommasino et al. (2012)

De la tabla 5, es amplio el conjunto de indicadores y métricas ambientales que posibilitan una evaluación enfocada en la sostenibilidad; sin embargo, como se mencionó, no es necesario abordar toda la base de recursos para una medición de sostenibilidad, sino que basta con escoger aquellos más sensibles al sistema y al contexto que serán evaluados.

Smith et al. (2017) sostienen que los indicadores y métricas asociadas son abrumadoramente estáticas, por lo que recomiendan puntos de vista más dinámicos para evaluar la sostenibilidad. Cabe aclarar que indicadores y métricas aquí relacionados deben ajustarse a los objetivos y al contexto de análisis de cada agroecosistema, así como deben ser empleados en marcos de evaluación de la sostenibilidad ya sean analíticos, sistémicos o normativos, como los refiere Sánchez-Fernández (2009).

Se propone que la medición de la sostenibilidad enfocada en pasturas se realice teniendo en cuenta

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

que son un subsistema enmarcado en el agroecosistema ganadero; por lo tanto, si el subsistema es insostenible, también lo será el sistema. En este sentido, para el caso del trópico se sugiere que se apliquen los índices y métricas para evaluar la sostenibilidad de agroecosistemas ganaderos basados en la sostenibilidad de pasturas cuando se cumpla al menos uno de estos dos casos: 1) si el subsistema de pasturas representa más del 30% del área total del agroecosistema y 2) si las pasturas generan más del 40% de los ingresos brutos de la familia a través de la producción de leche o carne.

No obstante, las conclusiones de la evaluación de la sostenibilidad basada en pasturas en sistemas diversificados deben ser realizadas teniendo en cuenta el contexto, de modo que, si el subsistema de pasturas es insostenible, también lo será el sistema; sin embargo, si es sostenible, se deberán analizar los otros subsistemas. En el caso de agroecosistemas ganaderos de la Amazonia y los llanos colombo-venezolanos, donde las pasturas representan más del 60% del predio y son la principal fuente de ingresos económicos, los resultados de la medición se pueden extrapolar al sistema completo.

Conclusiones

La sostenibilidad es un concepto de actualidad con un amplio desarrollo de marcos, indicadores y métricas para medir tanto la estabilidad como la armonía social, económica y ecológica de los agroecosistemas, siendo posible la medición de la sostenibilidad de los agroecosistemas ganaderos del trópico con enfoque en las pasturas. Además, existe un avance significativo en el desarrollo e implementación de herramientas para el manejo eficiente de las pasturas en las condiciones del trópico, como los sistemas silvopastoriles, el pastoreo racional y la restauración ecológica de praderas, que deben ser entendidos como un medio y no como un fin, en busca del siempre complejo y arduo camino de la sostenibilidad.

Asimismo, se debe entender que una pastura sostenible en el trópico debe cumplir al menos 12 condiciones, como proporcionar beneficios al suelo y plantas, bienestar a los animales y proveer tanto rentabilidad como medios de vida a la familia productora, mediante prácticas de manejo adecuadas que permitan el suministro de productos estables en el tiempo, la resiliencia del sistema de pastura y que conserven o mejoren los recursos naturales, así como la biodiversidad vegetal para las generaciones presentes y futuras.

Agradecimientos

El autor principal agradece a la gobernación del departamento del Huila y a Colciencias por la financiación de los estudios de maestría a través de la convocatoria número 677 de 2014 para la formación de capital humano de alto nivel en el departamento del Huila.

Descargos de responsabilidad

El presente artículo fue desarrollado como parte de la revisión de literatura de la tesis de maestría del autor principal. Los autores declaran que no existieron conflictos de interés que comprometieran la validez de los resultados presentados en este artículo y en él se encuentran los aportes significativos de todos los autores, quienes están de acuerdo con su publicación.

Referencias

Alves, B., Madari, B., & Boddey, R. (2017). Integrated crop-livestock-forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *108*(1), 1-4. doi:10.1007/s10705-017-9851-0.

Anderies, J., Jansen, M., & Walker, B. (2002). Grazing management, resilience, and dynamics of a fire-driven rangelands systems. *Ecosystems*, *5*(1), 23-44. doi:10.1007/s10021-001-0053-9.

Benavides, R. (2011). *Sostenibilidad de los sistemas ganaderos localizados en el parque nacional natural de las Hermosas y su zona de influencia*, (Tesis de maestria). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/3701/1/7408508.2011.pdf.

Bonnefón, P. (2016). *Indicadores de sustentabilidad ambiental y biodiversidad asociada a sistemas ganaderos* (trabajo de grado). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Tandil, Argentina. Recuperado de http://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/553.

Canto, M., Jobim, C., Pagliarini, M., Pancera-Jr, E., Barth, N.A., ... Vizotto, B. (2010). A pecuária de corte no Paraná - desenvolvimento, caracterização e o papel das pastegens. *Scientia Agraria Paranaensis*, *9*(3), 5-21. doi:10.1818/sap.v9i3.5257.

Casas-Cázares, R., González-Cossio, F., Martínez-Saldaña, T., García-Moya, E., & Peña-Olvera, B. V. (2009). Sostenibilidad y estrategia en agroecosistemas campesinos de los valles centrales de Oaxaca. *Agrociencia*, *43*(3), 319-331. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000300010&lng=es&tlng=es.

Casimir, M., & Rao, A. (1998). Sustainable herd management and the tragedy of no Man´s Land: an analysis of west Himalayan pastures using remote sensing techniques. *Human Ecology*, *26*(1), 113-134. doi:10.1023/A:1018701001793.

Castro, A., Lourenço Jr, J. d., dos Santos, N. d., Monteiro, E., de Aviz, M., & Garcia, A. (2008). Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. *Ciência Rural*, *38*(8), 2395-2402. doi:10.1590/S0103-84782008000800050.

Castro, M. (2013). *Caracterización social, económica y ambiental de las producciones bovinas lecheras del municipio de Floresta (Boyacá)* (trabajo de grado). Duitama, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Recuperado de http://repository.unad.edu.co/handle/10596/760.

Clavijo, L. (2015). *Implementación de tecnologías sostenibles para el incremento del rendimiento de las pasturas*, (tesis de maestría). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12241.

Da Veiga, J., & da Veiga, D. (2004). *Sistemas silvopastoriles en la Amazonia oriental*. Recuperado de www.fao.org/wairdocs/lead/x6343s/x6343s00.htm.

Dias-Filho, M. (2011). Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *40*(suplemento especial), 243-252.

Dignam, B., O´Callaghan, M., Condron, L., Raaijmakers, J., Kowalchuk, G., & Wakelin, S. (2016). Challenges and opportunitues in harnessing soil disease suppressiveness for sustainable pasture production. *Soil Biology Biochemistry*, *95*, 100-111. doi:10.1016/j.soilbio.2015.12.006.

Domínguez-Hernández, M. (2013). Propuesta para el manejo sustentable y bajo condiciones de inocuidad en sistemas de producción ovina. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, (10), 1-19. Recuperado de http://ride.org.mx/1-11/index.php/RIDESECUNDARIO/article/viewFile/214/209.

Espinola, J., Plá, L., Montañez, E., Leyva, J., & Cáceres, V. (2017). Evaluación de la sustentabilidad del sistema agrícola de la comunidad Huapra (Perú). *Revista Investigación Operacional*, *38*(1), 91-100.

Fernández, L., & Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica*, *24*(2), 121-130. doi:10.4067/S0718-07642013000200013.

Gamboa-Tabares, J., Varela-Ramírez, O., Peraza-Padilla, W., León-González, R., Chávez-Vargas, H., & Obando-Contreras, C. (2009a). Diseño de una matriz de indicadores para evaluar la sostenibilidad de una finca en San José (Costa Rica). *Momentos de Ciencia*, *6*(1), 32-42. Recuperado de http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/momentos-de-ciencia/article/view/175.

Gamboa-Tabares, J., Varela-Ramírez, O., Peraza-Padilla, W., León-González, R., Chávez-Vargas, H., & Obando-Contreras, C. (2009b). Cálculo de índices de sostenibilidad para una finca dedicada a la producción de café orgánico en San José (Costa Rica). *Momentos de Ciencia*, *6*(1), 60-69. Recuperado de http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/momentos-de-ciencia/article/view/179.

García, B. (2014). *Competitividad de sistema de producción bovina de montaña SP4 como resultado de las prácticas de conocimiento local: el caso del corregimiento de Santo Domingo de Florencia-Caquetá* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12408.

García, S., Bienvenido, B., & Flores, P. (2009). Desarrollo de una página web integrando mapas conceptuales sobre indicadores de sostenibilidad. En B. Tolón, B. Lastra (Ed.), *III seminario internacional de cooperación y desarrollo en espacios rurales iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores* (pp. 335-345). Almería, España: Universidad de Almería.

García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Soil quality indicators: a new way to evaluate this resource. *Pastos y Forrajes*, *35*(2), 125-138.

Giraldo, V. (1993). *Manejo y utilización sostenible de pasturas*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

González, P. (2009). *Evaluación de tres sistemas silvopastoriles para la gestión sostenible de los recursos naturales de la microcuenca del río Chimborazo* (trabajo de grado). Escuela Superior Politécnica Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Recuperado de http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/955/1/P-SENESCYT-0025.pdf.

González, P., & Alcaraz, V. (2013). Cultivo y costos de un sistema silvopastoril intensivo (SSPI) a base de gramíneas y *Leucaena leucocephala*: estudio de caso en Tepalcatepec, Michoacán, México. *INCEPTUM*, *8*(15), 277-292. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83728497004.

Grijalva, J., Ramos, R., & Vera, A. (2011). *Pasturas para sistemas silvopastoriles: Alternativas para el desarrollo sostenible de la ganadería en la Amazonia baja de Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap).

Guedes, E., Fernandes, A., Lima, E. d., Gama, M., & da Silva, A. (2009). Fosfato natural de arad e calagem e o crescimento de *Brachiaria brizantha* em latossolo amarelo sob pastagem degradada na Amazônia. *Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural Sciences*, *52*(1), 117-129.

Hazard, L., Steyeart, P., Martin, G., Couix, N., Navas, M., Duru, M., ... Labatut, J. (2017). Mutual learning between researchers and farmers during implementarion of scientific principles for sustainable devopment: the case of biodiversity-based agriculture. *Integrated Research System for Sustainable Development*, *13*(1), 1-14. doi:10.1007/s11625-017-0440-6.

Hogdson, J., & Silva, S. (2000). Sustainability of grazing system: goals, concepts and methods. En G. Lemaire, J. Hodgson, A. Moraes, P. Carvalho, & C. Nabinger (Eds.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 1-14). Wallingford, Inglaterra: CAB International. doi:10.1079/9780851994529.0001.

Jose, S., Walter, D., & Kumar, B. (2017). Ecological considerations in sustainable silvopasture desing and management. *Agroforestry Systems*, *93*(1), 1-15. doi:10.1007/s10457-016-0065-2.

Juárez-Hernández, J., & Bolaños-Aguilar, E. (2007). Las curvas de dilución de la proteina como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*, *23*(1), 81-90. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15423109.

Kato, S. (2014). Quantitative predictions for ecological and economic sustainability in Mongolian pastoral systems. En S. Sakai, & C. Umetsu (Eds.), *Social-ecological systems in transition* (pp. 107-119). Japan: Springer. doi:10.1007/978-4-431-54910-9_6.

Kroff, M., Bouma, J., & Jones, J. (2001). Systems approaches for the desing of sustainable agro-ecosystems. *Agricultural Systems, 70*, 369-393. doi:10.1016/S0308-521X(01)00052-X.

Larrea, A. (2011). *Caracterización y eficiencia de la producción lechera en el noreste de la Pampa (Argentina)* (tesis de doctorado). Universidad de Córdoba, Córdoba, España. Recuperado de http://www.europeana.eu/portal/en/record/2022701/oai_helvia_uco_es_10396_5219.html.

Lindell, L., Åström, M., & Öberg, T. (2010). Land-use versus natural controls on soil fertility in the Subandean Amazon, Peru. *Science of the Total Environment*, *408*, 965-975. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.10.039.

Londoño, P. (2015). El enfoque de gobernanza en la evaluación del desarrollo sostenible a escala local (caso del departamento de Antioquia, Colombia). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 257-263. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139243035.

Mahecha, L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *15*(2), 213-225.

Martínez-Castillo, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Tecnología en Marcha*, *22*(2), 23-39. Recuperado de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/114.

Martínez, S., Pedraza, R., Guevara, G., González, C., & León, M. (2009). Ordenamiento de 13 forrajes según su producción acumulada de gas in vitro con heces bovinas depuestas como inóculo. *Revista de Producción Animal*, *20*(1), 21-24.

Masera, O., Astier, M., & López, S. (1999). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de la evaluación Mesmis*. México D. F., México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente de Uruguay. (2010). *Diseño de un sistema de indicadores para el monitoreo del desarrollo sostenible a nivel nacional y costero en Uruguay*. Montevideo, Uruguay: autor.

Nascimento-Junior, D. (1998). Ecossistemas de pastagens cultivadas. *Simpósio sobre manejo de pastagens* (pp. 271-296). Piracicaba, Brasil: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.

Neves-Neto, D., dos Santos, A., & Neto, S. d. (2012). Atributos físicos e químicos do solo em ecossistema de campim-mombaça na Amazônia Oriental. *Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural Sciences*, *55*(2), 75-84. doi:10.4322/rca.2012.041.

O'Reagain, P., Scanlan, J., Hunt, L., Cowley, R., & Walsh, D. (2014). Sustainable grazing management for temporal and spatial variability in north Australian rangelands - a synthesis of the latest evidence and recommendation. *The Rangelands Journal*, *36*(3), 223-232. doi:10.1071/RJ13110.

Osechas, D., & Becerra, L. (2009). Estrategias de manejo de pastizales para la producción sustentable en fincas doble propósito en el occidente de Venezuela. *Bioagro*, *21*(2), 125-132.

Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., MaHugh, A., & Brenes, L. (2008). Indicadores para estimar la sostenibilidad agrícola de la cuenca media del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, *32*(2), 93-118. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632206.

Ramírez, R., da Silva, S., Hernández, G., Enríquez, Q., Pérez, P., Quero, C., & Herrera, H. (2011). Rebrote y estabilidad de la población de tallos en el pasto *Panicum maximum* cv Mombaza cosechado en diferentes intervalos de corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *34*(3), 213-220.

Rinehart, L. (2010). *Producción de bovinos. Consideraciones para productores de carne y de leche basada en pastoreo.* ATTRA. Recuperado de https://attra.ncat.org/attra-pub/summaries/summary.php?pub=331.

Ríos-Atehortúa, G. (2010). *Propuesta para generar indicadores de sostenibilidad en sistemas de producción agropecuaria, para la toma de decisiones. Caso: lechería especializada* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/1888/1/43097230.2010.pdf.

Rivas, L., & Holman, F. (1999). Adopción temprana de Arachis Pintoi en el trópico húmedo: el caso de los sistemas ganaderos de doble propósito en Caquetá, Colombia. *Pasturas Tropicales*, *21*(1), 2-17.

Romero, M. (2009). Desarrollo local a escala humana. *Polis*, *8*(22), 137-158. Recuperado de http://journals.openedition.org/polis/2645.

Rueda, O., Cuartas, C., Naranjo, J., Córdoba, C., Murgueitio, E., & Anzola, H. (2011). Comportamiento de variables climáticas durante estaciones secas y de lluvia, bajo influencia del ENSO 2009-2011 (El Niño) y 2010-2011 (La Niña) dentro y fuera de sistemas silvopastoriles intensivos en el Caribe seco de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *24*(3), 512.

Russo, R. (2015). Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y forrajes*, *38*(2), 157-161. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942015000200001&lng=es&tlng=es.

Sánchez, P., & Ara, M. (1991). Contribución potencial de las pasturas mejoradas a la sostenibilidad de los ecosistemas de sabana y de bosque húmedo tropical. En *Contribución de las pasturas mejoradas a la producción animal en el trópico: Memorias de una reunión de trabajo* (pp. 1-23). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Sánchez-Fernández, G. (2009). *Análisis de la sostenibilidad agraria mediante indicadores sinteticos: aplicación empírica para sistemas agrarios de Castilla y León* (tesis de doctorado). Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España.

Sarandón, S., & Flores, C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*, *4*, 19-28.

Sarmento, C., Veiga, J., Rischkowsky, B., Kato, O., & Siegmund-Schultze, M. (2010). Caracterização e avaliação da pastagem do rebanho de agricultores familiares do nordeste paraense. *Acta Amazonica*, *40*(3), 415-424. doi:10.1590/S0044-59672010000300002.

Sepúlveda, C., Ibrahim, M., Bach, O., & Rodríguez, A. (2011). Desarrollo de lineamientos para la certificación de sistemas sostenibles de producción ganadera. *Agroforestería de las Américas*, *48*, 14-20. Recuperado de http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/AGRO/article/view/88/0.

Shakoor, C. (2008). Forage based animal production systems and sustainability, ad invited keynote. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *37*(Suppl. Esp.), 78-84. doi:10.1590/S1516-35982008001300010.

Shelton, H., Franzel, S., & Peters, M. (2005). Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. En D. McGilloway (Ed.), *Grassland: a global resource* (pp. 149-166). Wageningen, Países Bajos: Wageningen Academic Publishers. Recuperado de http://hdl.handle.net/10568/55508.

Sherren, K., Fischer, J., Clayton, H., Schirmer, J., & Dovers, S. (2010). Integration by case, place and process: transdisciplinary research for sustainable grazing in the Lachlan River catchment, Australia. *Landscape Ecology*, *25*(8), 1219-1230. doi:10.1007/s10980-010-9494-x.

Sierra, P. (2005). *Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

Silva, R., Barioni, L., Hall, J., Moretti, A., Veloso, R., Alexander, P., ... & Morán, D. (2017). Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agricultural Systems*, *153*, 201-211. doi:10.1016/j.agsy.2017.02.001.

Smith, A., Snapp, S., Chikowo, R., Thorne, P., Bekunda, M., & Glover, J. (2017). Measuring Sustainable Intensification in Smallholder Agroecosystems: A Review. *Global Food Security*, *12*, 127-138. doi:10.1016/j.gfs.2016.11.002.

Smith, J., Winograd, M., Gallopin, G., & Pachico, D. (1998). Dynamics of the agricultural frontier in the Amazon an savannas of Brazil: analyzing the impact of policy and technology. *Environmental Modelling and Assessment*, *3*, 31-46. doi:10.1023/A:1019094218552.

Sollenberger, L. (2008). Sustainable production systems for *Cynodon* species in the subtropics and tropics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *37*(Suppl. Esp.), 85-100. doi:10.1590/S1516-35982008001300011.

Steinwandter, E., Olivo, C., dos Santos, J., Araújo, T., Aguirre, P., & Diehl, M. (2009). Produção de forragem em pastagens consorciadas com diferentes leguminosas sob pastejo rotacionado. *Acta Scientarum. Animal Sciences*, *31*(2), 131-137. doi:10.4025/actascianimsci.v31i2.6238.

Stewart, B., Lal, R., & El-Swaify, S. (1991). Sustaining the resource base of an expanding world agriculture. En R. Lal, & F. Pierce (Eds.), *Soil management for sustainable* (pp. 125-144). Iowa, EE. UU.: Soil and Water Conservation Society.

Tellarini, V., & Caporali, F. (2000). An Input/output methodology to evaluate farms as sustainable agroecosystems: an application of indicators to farms in central Italy. *Agriculture Ecosystems Environment*, *77*(1-2), 111-123. doi:10.1016/S0167-8809(99)00097-3.

2019 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Tommasino, H., García, F., Marzaroli, J., y Gutierrez, R. (2012). Indicadores de sustentabilidad para la produccion lechera familiar en Uruguay: análisis de tres casos. *Agrociencia Uruguay*, *16*(1), 166-176.

Townsend, C., Costa, N., & Pereira, R. (2010). Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no bioma Amazônia. *Pubvet*, *4*(14), 1-31.

Triana, G., Curbelo, R., & Loyola, H. (2017). Indicadores bioeconómicos del uso de *Ataleia cubensis* (DC) Dietr. para la producción con rumiantes en Camagüey. *Revista de producción Animal*, *29*(1), 16-20.

Vásquez, L. (2008). Conocimiento local de plantas herbáceas y leñosas forrajeras en dos localidades del municipio de Muy Muy, Matagalpa, Nicaragua. *Revista de Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario*, *11*, 159-170.

Volaire, F., Barkaoui, K., & Norton, M. (2014). Designing resilient and sustainable grassland for a drier future: adaptative strategies, funtional traits and biotic interactions. *European Journal of Agronomy*, *52*(B), 81-89. doi:10.1016/j.eja.2013.10.002.

von Bernard, H. T. (2006). *Sustentabilidad de la producción ganadera bovina. ¿Es posible internalizar los costos ambientales? Un estudio en la pampa húmeda* (tesis de maestría). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de http://catalogosuba.sisbi.uba.ar/vufind/Record/http%253A%252F%252Fwww.agro.uba.ar%252Fusers%252Frins%252Fagrotesi%252F015980.

Wairiu, M. (2017). Land degradation and sustainable land management practices in Pacific Island Countries. *Regional Environmental Change*, *17*(4), 1053-1064. doi:10.1007/s10113-016-1041-0.

Zepeda, C., Velasco, Z., Nahed, T., Hernández, G., & Martínez, T. (2016). Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, *7*(4), 471-488. doi:10.22319/rmcp.v7i4.4282.

Zuazo, V., Pleguezuelo, C., Flanagan, D., Tejero, I., & Fernández, J. (2011). Sustainable land use and agricultural soil. En E. Lichtfouse (Ed.), *Alternative farming systems, biotechnology drought stress and ecological fertilisation, sustainable* (pp. 107-192). Ámsterdam, Países Bajos: Springer.