

SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE GANADERÍA EXTENSIVA

SUSTAINABILITY OF EXTENSIVE LIVESTOCK PRODUCTION SYSTEMS

<https://doi.org/10.5281/zenodo.3594078>

AUTORES: Juan Gómez Villalva^{1*}

Fernando Cobos Mora²

Edwin Hasang Moran³

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: jgomez@utb.edu.ec

Fecha de recepción: 13 / 09 / 2019

Fecha de aceptación: 11 / 10 / 2019

RESUMEN:

Este análisis se realizó mediante la recopilación y el uso de información correspondiente a tierras degradadas, con el objetivo de analizar los sistemas de producción ganadera extensiva que se ven afectados por el sobrepastoreo. Esta investigación es de tipo bibliográfico y descriptivo, considerando los factores relevantes de un sistema de producción ganadero sostenible. Las variables estudiadas fueron: carbono total, carbono orgánico del suelo (COS) y cobertura aérea (biomasa arbórea). Los bosques secundarios en Costa Rica y Nicaragua y los bosques riparios en Colombia presentaron la mayor concentración de C total. Las pasturas degradadas fueron el uso de la tierra con menor C ($72,5 \pm 6,8$ t ha⁻¹). El COS en los distintos usos de la tierra presentó diferencias significativas en Costa Rica y Nicaragua ($p < 0,05$). En Colombia, los cuatro usos de la tierra evaluados no presentaron diferencias significativas en sus contenidos de COS ($p = 0,0544$), reportándose valores de entre $52,3 \pm 9,8$ y $81,3 \pm 3,6$ t ha⁻¹ para los bosques riparios y para las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. Las pasturas

^{1*} Magister en Gerencia de Servicios de Salud, Universidad Técnica de Babahoyo. jgomez@utb.edu.ec

² Magister en Administración de Empresas Mención Marketing, Universidad Técnica de Babahoyo. fcobos@utb.edu.ec

³ Magister en Nutrición Vegetal, Universidad Técnica de Babahoyo. ehasang@utb.edu.ec

degradadas, las mejoradas con baja densidad de árboles y las naturales con alta densidad de árboles fueron los usos de la tierra que aportaron menor cantidad de C en la biomasa arbórea. En Colombia se encontró $158,7 \pm 12,5$ t ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea en los bosques riparios. Se encontraron diferencias estadísticas ($p = 0,0042$) en el almacenamiento de carbono en biomasa aérea entre sistemas de Costa Rica. Centrosema recuperó la compactación del suelo hasta 20 cm de profundidad.

PALABRAS CLAVE: sostenibilidad, carbono orgánico del suelo.

ABSTRACT:

This analysis was carried out through the collection and use of information corresponding to degraded lands, with the aim of analyzing the extensive livestock production systems that are affected by overgrazing. This research is bibliographic and descriptive, considering the relevant factors of a sustainable livestock production system. The variables studied were: total carbon, soil organic carbon (COS) and aerial cover (tree biomass). Secondary forests in Costa Rica and Nicaragua and riparian forests in Colombia had the highest concentration of total C. The degraded pastures were land use with lower C (72.5 ± 6.8 t ha⁻¹). The COS in the different land uses presented significant differences in Costa Rica and Nicaragua ($p < 0.05$). In Colombia, the four land uses evaluated did not show significant differences in their COS content ($p = 0.0544$), with values between 52.3 ± 9.8 and 81.3 ± 3.6 t ha⁻¹ being reported for riparian forests and for improved pastures without trees, respectively. The degraded pastures, the improved ones with low tree density and the natural ones with high tree density were the land uses that contributed less amount of C in the tree biomass. In Colombia, 158.7 ± 12.5 t ha⁻¹ of carbon was found in aerial biomass in riparian forests. Statistical differences ($p = 0.0042$) were found in carbon storage in aerial biomass between systems in Costa Rica. Centrosema recovered soil compaction up to 20 cm deep.

KEYWORDS: Silvopastoral, sustainability, organic soil carbon.

INTRODUCCIÓN

Las altas tasas de deforestación en países tropicales (17 millones ha/año, FAO 1993) no solamente tienen efectos locales tales como la degradación y pérdida de suelos, sino que además resulta en hasta $\frac{1}{4}$ de las emisiones globales de CO₂ a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático global y a las pérdidas de biodiversidad en hábitats forestales naturales.

El incremento en el aislamiento de los remanentes de bosque en medio de un paisaje agrícola homogéneo contribuye aún más a exacerbar los impactos negativos de las formas predominantes de actividad pecuaria en el Neotrópico. Más del 35 por ciento de las pasturas en América Central están en un estado avanzado de degradación. (Szott *et al.*, 2000)

Uno de los mayores retos que afrontan los especialistas de todo el mundo en la actualidad se relaciona con la generación de soluciones para menguar la degradación del suelo, agua y aire, al mismo tiempo que se incrementa la presión sobre estos recursos naturales, en respuesta a la necesidad de producir más alimentos para una población creciente.

La ganadería juega un papel fundamental en la salud futura del planeta. Esta actividad requiere actualmente 3.4 billones de has en praderas, representada en cerca de una cuarta parte de tierras cultivables. En total, la ganadería hace uso de más de dos terceras partes de la superficie mundial bajo agricultura y una tercera parte del total del área global. (Siavosh Sadeghian 2001).

Aunque hay diferentes visiones sobre los problemas generados, estos varían de una región a otra y de un país a otro. Sin embargo, existen consensos importantes sobre los impactos más preocupantes, entre los que se destacan la deforestación de los bosques tropicales, la erosión y compactación de los suelos frágiles, las emisiones de gases nocivos para la atmósfera (efectos de invernadero y daño en la capa de ozono), polución de aguas, eutroficación de zonas costeras, cambios en la cobertura vegetal, disminución de la biodiversidad (plantas y animales), y el uso de recursos no renovables, tales como la energía fósil y fertilizantes.

Uso del suelo en el Ecuador, o la utilización de las tierras en el sector rural, esta descrita por categorías: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos. Los productos agrícolas que estudia la ESPAC corresponden a los cultivos permanentes y transitorios, por ello se prioriza su descripción. La superficie total asciende a 12'201.254 hectáreas; de las cuales los cultivos permanentes representan el 11,61 %, cultivos transitorios y barbecho el 7,18 %, descanso el 0,77%, pastos cultivados el 18,52 %, pastos naturales 6,79 %, páramos 4,09 %, montes y bosques 47,20 %. Cultivos Permanentes 11,61% Pastos Naturales 6,79% Páramos 4,09% Montes y Bosques 47,20% (Inec 2014). La ganadería tropical enfrenta

serias controversias debido al modelo vigente de producción, caracterizado por: grandes extensiones de áreas con gramíneas.

En el litoral ecuatoriano existen sistemas de producción de ganadería extensiva con potreros grandes, baja presencia de árboles y sobrepastoreo debido al tiempo de ocupación de los potreros. Lo que repercute en la degradación de los suelos y la baja productividad de los sistemas silvopastoriles. El objetivo del presente trabajo fue analizar los sistemas de producción en ganadería extensiva que se ven afectados por el sobrepastoreo.

Uso del suelo, superficie y número de upas en Ecuador.

Categorías	Superficie	UPAs
Cultivos permanentes	1.363.400	304.206
Cultivos transitorios	1.231.675	629.055
Pastos cultivados	3.357.167	298.962
Pastos naturales	1.129.701	205.833
Páramos	600.264	23.672
Montes y bosques	3.881.140	242.912
Descanso	381.140	136.815
Otros usos	411.180	717.328

Fuente: SICA-MAG (2002)

METODOLOGÍA

Materiales y métodos

Esta investigación es del tipo bibliográfico y descriptivo que utiliza el método de análisis, para caracterizar y comparar las propiedades de los sistemas en estudio.

Uso de la tierra

La contribución del cambio de uso de la tierra a mayores emisiones de dióxido de carbono ha despertado recientemente la atención de investigadores y decisores de política. La deforestación y sus vínculos con la ganadería extensiva vuelve a ser un punto crítico desde la perspectiva del cambio climático, relación negativa que ya es aceptada también con la pérdida de biodiversidad (Steinfeld *et al.* 2006).

Por ejemplo, si en las cuentas nacionales de Brasil se incluye el análisis de las emisiones por deforestación, el balance deja de ser positivo y el país pasa a ser emisor importante en

el contexto global (CBO 2012). Buena parte de las áreas deforestadas en Brasil pasan a ser pastizales para ganado. Lo mismo sucede en Colombia donde el 55% de las casi 300,000 ha deforestadas por año en el último quinquenio pasan a pasturas (Cabrera *et al.* 2011). En este contexto una de las estrategias más recomendadas para mitigar las emisiones es incrementar el tamaño del sumidero de carbono terrestre más estable, lo que implica conservar los bosques y ampliar las áreas forestadas puras o asociadas con agricultura y ganadería. Escalar los sistemas silvopastoriles hacia una multiplicación masiva es un camino cada vez más interesante.

El potencial de árboles y cultivos de cobertura para contribuir al mantenimiento y rehabilitación de las características físicas del suelo como una mejor densidad aparente, resistencia mecánica y la agregación del suelo ha sido bien establecida, incluida una mejora en la productividad (Alegre y Rao, 1996; Rao *et al.*, 1998; Alegre *et al.*, 2005).

La aplicación de estiércol en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoníaco y las plantas lo usan como nutriente (Miner *et al.*, 2000). A pesar de ello, la valoración del estiércol como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. Además, la fracción líquida del estiércol ayuda a disminuir las pérdidas de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo (Capulin *et al.*, 2001), así puede reducir el uso de fertilizantes químicos y, por tanto, el impacto ambiental (Bouwman y Booiij, 1998).

Sistemas extensivos de producción ganadera.

Los sistemas extensivos para la ganadería en el trópico están caracterizados por una baja eficiencia en el uso del suelo, sumado a un gran deterioro ambiental a causa de problemas como la deforestación, las quemadas, la erosión, la pérdida de la biodiversidad y la inequidad social, factores que han hecho que la ganadería bovina sea vista como un sector productivo que atenta contra la sostenibilidad ecológica mundial (Mahecha 2003)

La mayoría de los sistemas ganaderos se desarrollan bajo condiciones extensivas, donde predomina el monocultivo de gramíneas y la ausencia de la cobertura arbórea, producto de

conceptos y tecnologías de revolución verde que, en la actualidad, están siendo reevaluadas. Estas tecnologías han generado problemas ambientales como degradación del suelo, contaminación de las aguas y emisiones de gases con efecto invernadero (Navas 2007).

Algunas de las tecnologías empleadas en la ganadería no tienen en cuenta las condiciones agroecológicas donde se encuentra la finca, condiciones que muchas veces tampoco son tomadas en cuenta para la selección de los animales, la conservación de alimentos, el establecimiento de prácticas de manejo, etc. Las tecnologías que no son validadas según las condiciones del agroecosistema pueden generar en muchos casos indicadores productivos, reproductivos y económicos negativos, que se reflejan en la baja productividad y rentabilidad de esta actividad en Colombia (Navas 2010)

Ganadería y su impacto en el cambio climático

Los sistemas silvopastoriles son sistemas de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral. (Pezo 1998)

Diversas instituciones, empresas y personas vienen promoviendo los SSPi, que permiten alcanzar altas cargas animales y alta producción natural de leche y carne. Las justificaciones para la promoción y difusión de estos sistemas son, entre otras, el incremento de la producción, la protección y aumento de la biodiversidad, y la reducción de la vulnerabilidad de estos sistemas a cambios meteorológicos extremos. Además, existe una serie de prácticas y tecnologías asociadas a la producción ganadera sostenible que pueden ser herramientas que contribuyan a mitigar y adaptarse al cambio climático (Murgueitio *et al.* 2011)

Debe reconocerse que las estimaciones de las emisiones del sector agrícola, en contraste con otras industrias, están sujetas a una gran incertidumbre. En el caso de la ganadería, es común que se utilicen coeficientes genéricos simples para todos los animales, sin tener en cuenta las diferencias en la eficiencia productiva entre especies y sistemas. Los factores actuales de las emisiones se reportan con una incertidumbre de ± 30 a 50%. Es probable que, en el futuro, el IPCC reporte modelos más ajustados a las condiciones de cada país, por lo tanto, se puedan generar estimaciones más específicas del sistema (Naranjo *et al.* 2012).

La cantidad de CO₂ que puede fijar anualmente un sistema ganadero está influenciado por diferentes aspectos, como el manejo, la historia del uso suelo, la textura, el clima, la producción, entre otros (Mannetje 2007, Fisher *et al.* 2007). Es así como Fisher *et al.* (2007) haciendo un análisis en diferentes tipos de pasturas, reportó que las pérdidas por degradación y malos manejos pueden llegar a representar 1.5 toneladas CO₂ eq/ha/año, valor similar al encontrado en este estudio. Por lo tanto, para poder garantizar la fijación de CO₂ en sistemas ganaderos, es necesario mejorar las prácticas de manejo, mantener productivo el sistema y diseñar estrategias de manejo que permitan conservarlo, como en los SSPi. (Naranjo *et al.* 2012).

A pesar de que los resultados en la estimación de tasas de fijación de CO₂ en sistemas agroforestales y SSP, difieren mucho en su estimación, según los métodos empleados para las mismas (Nair *et al.* 2010), en la región existen trabajos que pueden servir para entender las estimaciones calculadas en este estudio. Amézquita *et al.* (2010) en la Amazonía colombiana reportaron tasas de fijación para sistemas ganaderos con *Brachiaria brizantha* de 12.8; *B. brizantha* asociada a *Arachis pintoi* de 15.0 y para *Hyparrhenia rufa* de 13.6 toneladas CO₂ eq/ha. Mora (2001) en Costa Rica encontró tasas de fijación de 19.1 y 18.7 toneladas CO₂ eq/ha en monocultivo de *Pennisetum clandestinum*, y en *P. clandestinum* con árboles respectivamente; y de 17.6 y 18 toneladas de CO₂ eq/ha en *Cynodon nlenfuensis* en monocultivo y con árboles respectivamente. (Naranjo *et al.* 2012)

Emisiones de metano

Las emisiones de CH₄ por fermentación entérica calculadas en un estudio para cada uno de los sistemas evaluados fueron 1.7 toneladas CO₂ eq/ha/año para PD; 4.8 para PM; y 6.1 para SSPi y SSPi + Maderables. Aunque varios trabajos experimentales recomiendan hacer modificaciones a los valores usados por el IPCC para hacer los cálculos de las emisiones de metano (Primavesi *et al.* 2004, Mieres *et al.* 2003), las ecuaciones sugeridas por el IPCC se consideran válidas para reportar valores nacionales y regionales (FAO 2011).

La mayor contribución de GEI se produce por los procesos fisiológicos de los animales. En los SSPi, está cercano al 90%, lo que sugiere que es necesario profundizar en los mecanismos de utilización eficiente de los nutrientes, desde la perspectiva animal y vegetal; porque con estas aproximaciones aún es desconocido qué porcentaje puede ser reducido y

qué porcentajes pueden modificarse con las tecnologías silvopastoriles. (Naranjo *et al.* 2012)

En un estudio realizado en Brasil por Primavesi *et al* (2004), se encontraron emisiones de metano de 1.7 a 3.09 toneladas CO₂ eq/ha/año en pasturas de *Panicum maximum* y *Brachiaria decumbens* fertilizados y de 1.38 a 1.52 en pasturas sin fertilizar, datos similares a los calculados en un estudio para PD y PM. Los valores de emisión son mayores a los medidos en regiones templadas en condiciones de pastoreo. El trabajo resalta la alta influencia de la calidad de forraje en las emisiones y también los efectos raciales de los animales porque parecen existir diferencias en la eficiencia en el uso de los forrajes, que podrían deberse a diferencias en el contenido y degradabilidad de la fibra en estos sistemas de producción (Barahona y Sánchez, 2005; Molina y Barahona, 2011).

A través de la óptica de la mitigación al cambio climático, se deben hacer diferencias entre las emisiones evitables, reducibles y compensables. Por ejemplo, las emisiones producto de los procesos fisiológicos se consideran como reducibles, pero no evitables, en cambio otras emisiones pueden ser evitables y reducibles dentro y fuera de la finca (Ibrahim *et al.* 2010a, 2010b)

El total de emisiones de GEI son compensables dependiendo del potencial del capital natural para dicho logro o la intención de compensar por medio del mercado de bonos de carbono, en caso de acceder a negociaciones sobre remoción o compensación de emisiones. En este caso y dadas las condiciones de productividad vegetal de los SSPi, es posible afirmar que tienen un alto capital natural con capacidad para ser una estrategia de mitigación al cambio climático.

Baethgen y Martino (2001) reportan que los productores uruguayos emiten 1 kg CH₄/kg carne producido, lo cual equivale a 21 kg CO₂ eq. Con los datos obtenidos en el balance de GEI para cada uno de los sistemas considerados en este estudio puede decirse que para PD se emitirían 94.4 kg CO₂ eq/kg carne, las PM compensarían la producción de 35.8 kg de carne; mientras que los SSPi podrían compensar la producción de 444.4 y 1290.3 kg carne, para SSPi y SSPi + Maderables respectivamente.

Indicadores de Sostenibilidad

Para el suelo estudiado Investigadores que trabajan en agricultura sostenible, han ideado una serie de indicadores de sostenibilidad para evaluar el estado de los agroecosistemas (Gómez *et al.* 1996, Maserá *et al.* 1999). Algunos indicadores desarrollados consisten en observaciones o mediciones que se realizan a nivel de finca con el objetivo de ver si el suelo es fértil y está conservado. Los sistemas de manejo pueden llevar al suelo a diferentes estados de fertilidad. Cuando este manejo se caracteriza por el uso de cobertura vegetal, utilización diversa de la materia orgánica y el aprovechamiento de los recursos locales, se adquiere un estado de equilibrio natural que se refleja en las propiedades físicas, químicas y biológicas. De ello resulta que algunas propiedades del suelo pueden ser evaluadas bajo las condiciones de estudio como indicadores de sostenibilidad. Esto no solo significa ahorrar insumos externos sino mantener la fertilidad natural del suelo, alcanzar producciones estables y proteger el recurso suelo para las generaciones futuras (Altieri 1996).

Con la práctica de roza, tumba y quema, el bosque se elimina con la quema y con ello se pierde el carbono contenido en la biomasa aérea, además de una parte del contenido en el suelo. Un efecto benéfico de la quema es la liberación de nutrientes minerales para las plantas. Posteriormente habrá más pérdidas de carbono, cuya magnitud dependerá del uso que se le dé al suelo. Si se aplica labranza convencional podría perderse entre el 40 y 50% del carbono en unas docenas de años. No obstante, como parte de la práctica de roza, tumba y quema, hay un periodo de descanso para el suelo, durante el que puede haber una recuperación de carbono. Para que ésta sea mayor se recomienda que se siembren pastos. (Hernández *et al.* .2014)

Con la forestación, la recuperación de carbono varía en función de las condiciones climáticas de la zona. La tasa anual total de carbono (en la biomasa aérea y dentro del suelo) aumenta en las zonas boreales de 0.4 a 1.2 t/ha/año, en las templadas de 1.5 a 4.5 t/ha/año y en las tropicales, de 4 a 8 t/ha/año (Dixon, 1995)

Los principales factores que afectan negativamente el contenido de carbono en los pastizales son el sobrepastoreo y el fuego. Como consecuencia del sobrepastoreo, el 70% de los suelos de pastoreo están degradados (Pieri, 1989). Por otra parte, el fuego es el responsable de que se emita a la atmósfera hasta el 30% del carbono almacenado en el suelo. Para mitigar los efectos de estas dos prácticas, se debe controlar el pastoreo (intensidad, frecuencia y estacionalidad) y hacer un mejor manejo del fuego. Además,

deben adoptarse medidas para enriquecer el suelo y usar pastos de mejor calidad. (Hernández *et al.* 2014).

En las zonas áridas y semiáridas, el uso de cultivos de cobertura es importante para suprimir el barbecho desnudo o para mejorarlo, aunque el uso de estiércol o composta también puede ser de importancia fundamental para la retención del agua y la producción de cultivos en estas zonas. El riego agrícola permite un incremento de la biomasa, aunque las condiciones no son necesariamente compatibles con las que se requieren para el almacenamiento de carbono. Cabe mencionar que todas las prácticas dirigidas a la fijación del carbono en suelos cultivados también suelen restaurar los suelos degradados. (Hernández *et al.* 2014)

En las zonas de pastoreo, se identificó como práctica prioritaria el establecimiento de pasturas en zonas áridas para frenar la erosión y la desertificación de los suelos. Asimismo, es necesario mejorar el manejo del pastoreo y del fuego. Estas últimas cuestiones tienen una fuerte limitante social para su aplicación.

De acuerdo con las estimaciones realizadas por el IPCC (2000), con la adopción de mejores prácticas de manejo de los suelos en los países desarrollados, para el año 2040 el 50% de los suelos de cultivo se habrá beneficiado y esto reportará una ganancia media de carbono de 0.32 t/ha/año. En el caso de las zonas de pastoreo, el 20% de los suelos se habrá beneficiado de estas prácticas, con una tasa de captura de carbono de 0.8 t/ha/año. Por último, en la agrosilvicultura, el 30% de la extensión se manejará mejor y con esto se logrará capturar 0.22 t/ha/año de carbono. En cuanto a cambios de uso del suelo, se recomienda convertir áreas agrícolas en agrosilvicultura o pastizales. (Hernández *et al.* 2014)

Para los sistemas de producción estudiados fueron seleccionados tres indicadores de sostenibilidad para los sistemas objeto de estudio, los cuales son: Carbono total, carbono orgánico del suelo (COS) y cobertura aérea (biomasa arbórea).

RESULTADOS

Carbono total (COS y biomasa arbórea) en los usos de la tierra

Las investigaciones reportadas por Ibrahim, M. *et al.* 2016, las cuales fueron desarrolladas en varios países: Costa Rica y Nicaragua y Colombia, donde se indica que el uso de tierra con mayor degradación fueron las utilizadas como pasturas ($26,5 \pm 10,9$ t ha⁻¹), lo cual

contrasta con los resultados obtenidos en el uso de suelos para bosques en estos mismos países, donde se concentra la mayor cantidad de carbono total ($297,6 \pm 72,6$ t C ha⁻¹). Se han encontrados datos semejantes a los reportes de carbono total obtenidos en bosques húmedos en Nicaragua, donde el almacenamiento de carbono sumado del suelo y de la biomasa alcanzó rangos de entre 251,7 y 320,1 t ha⁻¹ (Lagos y Venegas 2003), corroborando datos obtenidos en Guatemala, donde se han encontrado valores de 237 t ha⁻¹ de C total (Arreaga 2002). Estos resultados encontrados en diferentes estudios a nivel de países ratifican la degradación existente en los suelos utilizados para pasturas por su baja concentración y almacenamiento de carbono.

Los datos analizados sobre el COS en los distintos usos de la tierra presentaron diferencias significativas en Costa Rica y Nicaragua ($p < 0,05$). En Colombia, no presentó diferencias significativas en sus contenidos de COS ($p = 0,0544$), reportándose valores de entre $52,3 \pm 9,8$ y $81,3 \pm 3,6$ t ha⁻¹ para los bosques riparios y para las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los de otros estudios llevados a cabo en Colombia, donde inventarios de carbono superficial en el suelo (0-30 cm) de cuatro tipos de cobertura vegetal (bosque primario intervenido, bosque secundario, rastrojo bajo y pastizal sin manejar) no encontraron diferencias significativas ($83,9 \pm 11,1$ y $96,6 \pm 5,0$ t C ha⁻¹; Moreno y Lara 2003).

En Costa Rica, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS que los demás sistemas ($21,7 \pm 6,6$ t C ha⁻¹; $p = 0,0484$). Los otros seis usos de la tierra evaluados no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), encontrándose en un rango entre $95,1 \pm 6,6$ y $139,5 \pm 17,2$ t C ha⁻¹ para las plantaciones forestales y las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. En Nicaragua, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS con $63,1 \pm 8,4$ t C ha⁻¹ y los bosques secundarios los que presentaron una mayor cantidad con $139,2 \pm 20,4$ t C ha⁻¹. Los resultados de COS en bosques se asemejan a los reportados en Venezuela, donde se determinaron valores de $125,0 \pm 8,3$ t ha⁻¹ de COS a 1 m de profundidad en bosques secos con condiciones climáticas similares a los sitios de Costa Rica y Nicaragua (Delaney et ál. 1997). En bosques húmedos en Guatemala se encontró a una profundidad de 60 cm cantidades de COS de 130,4 t C ha⁻¹ (Arreaga 2002).

Biomasa arbórea arriba del suelo

En Colombia se encontró $158,7 \pm 12,5$ t ha⁻¹ de carbono en la biomasa aérea en los bosques riparios. Se encontraron diferencias estadísticas ($p = 0,0042$) en el almacenamiento de carbono en biomasa aérea entre sistemas de Costa Rica. En este país, las plantaciones de teca presentaron el mayor almacenamiento de carbono, seguidas por los bosques secundarios ($92,4 \pm 11,3$ y $90,8 \pm 48,6$ t C ha⁻¹, respectivamente). Las pasturas degradadas, las pasturas mejoradas con baja densidad de árboles y las pasturas naturales con alta densidad de árboles fueron los usos de la tierra que aportaron menor cantidad de carbono en la biomasa arbórea. Los bosques secundarios presentaron mayor almacenamiento de C en Nicaragua que el resto de los sistemas ($23,0 \pm 3,0$ t C ha⁻¹; $p = 0,0113$). Los demás usos de la tierra no presentaron diferencias significativas en los contenidos de biomasa ($p > 0,05$), pero los bancos forrajeros de gramíneas son los de menor carbono ($6,0$ t ha⁻¹; Figura 4b).

El contenido de carbono en la biomasa de bosques reportados en este estudio (entre $23,0$ y $158,7$ t C ha⁻¹) se asemejan a los reportes existentes para biomasa de bosques tropicales (Orrego y Del Valle 2003). En bosques húmedos en Centroamérica, se han reportado valores de carbono de entre $111,4$ a $137,8$ t C ha⁻¹ en Costa Rica (Segura 1999); $145,6$ y $183,2$ t C ha⁻¹ en Nicaragua (Lagos y Venegas 2003) y $104,80$ t C ha⁻¹ en Guatemala (Arreaga 2002). En bosques secundarios jóvenes en Nicaragua, se han determinado valores de $17,6$ t C ha⁻¹ (Ruiz 2002). Se reporta una situación similar para el carbono en la biomasa del componente arbóreo en las pasturas; en Nicaragua se encontró en pasturas nativas con árboles (100 árboles ha⁻¹) contenidos de carbono de $8,2 \pm 3,0$ t C ha⁻¹ y en pasturas mejoradas con árboles (110 árboles ha⁻¹) de $12,5 \pm 3,6$ t ha⁻¹ (Ruiz 2002).

Los datos encontrados en teca se asemejan a algunos estudios en Panamá, donde se determinó un promedio de $104,5$ t ha⁻¹ de carbono (Kraenzel *et al.* 2003); sin embargo, contrastan con lo encontrado en Hojancha, zona del Pacífico seco de Costa Rica, donde se encontró un total de carbono en la biomasa de entre $33,8$ y $37,9$ t C ha⁻¹ (Cubero y Rojas 1999). La explicación a estas variaciones puede ser atribuida a diferencias en la calidad de sitio, la edad y el tipo de manejo silvicultural aplicado a las plantaciones (De Camino *et al.* 2002).

Capacidad de almacenamiento de carbono

La capacidad de almacenamiento de carbono en bosques primarios, secundarios y húmedos en países como: Nicaragua, Costa Rica, Guatemala y Colombia el almacenamiento de carbono entre el suelo y la biomasa alcanzó rangos de entre 251,7 y 320,1 t ha⁻¹. Los resultados de COS en bosques se asemejan a los reportados en Venezuela, Panamá y Brasil donde se determinaron valores que van de 104,5 y 125,0 ± 8,3 t ha⁻¹ de COS a 1 m de profundidad en bosques secos con condiciones climáticas similares a los sitios de Costa Rica y Nicaragua.

En el caso de las pasturas degradadas (26,5 ± 10,9 t ha⁻¹) fueron significativamente menores en su contenido total de C en comparación a los otros usos de la tierra. En Costa Rica, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS que los demás sistemas (21,7 ± 6,6 t C ha⁻¹; $p = 0,0484$). Los otros seis usos de la tierra evaluados no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$), encontrándose en un rango entre 95,1 ± 6,6 y 139,5 ± 17,2 t C ha⁻¹ para las plantaciones forestales y las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. En Nicaragua, las pasturas degradadas presentaron menor cantidad de COS con 63,1 ± 8,4 t C ha⁻¹.

Para la captura de carbono, se identificaron como prioritarias la preservación y recuperación de los potreros, mediante forestación con especies de leguminosas arbustivas y pasar de un sistema extensivo a un silvopastoril con centrosema y árboles leñosos con Guazuma crinita (GC), Simarouba amara (SA), y Calycophyllum spruceanum (CS) estos tienen mayor potencial para secuestrar carbono.

Para recuperar suelos ligera y medianamente degradados, la aplicación de prácticas conservacionistas es suficiente. En cambio, para potreros con degradación fuerte o extrema, deben aplicarse tratamientos específicos y en muchos casos hacer un cambio de uso del suelo. Se propone la conversión a agrosilvicultura en áreas húmedas y a pastizales en zonas áridas o semiáridas.

En cuanto al sobrepastoreo se plantea el uso de cercos eléctricos y con una óptima aplicación del PRV (pastoreo rotacional de voisin) la vida del suelo y su materia orgánica siempre van en aumento, instaurándose la ley de fertilidad creciente.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que en cada uno de los paisajes ganaderos analizados las pasturas degradadas no están aportando significativamente al secuestro de carbono e incluso podrían estar emitiendo carbono a la atmósfera, mientras que las pasturas mejoradas con árboles son usos de la tierra con mayor potencial para el secuestro de carbono que las pasturas degradadas.

El mejoramiento de pasturas y el aumento de la cobertura arbórea pueden hacer que usos de la tierra como las pasturas degradadas presenten un alto potencial de secuestro de carbono a nivel de finca. A nivel de paisaje, el potencial de las fincas ganaderas se vería incrementado insertando algunas áreas con plantaciones forestales y liberando áreas no aptas para la producción agropecuaria para dar paso a la regeneración natural de bosques secundarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J. 2017 Recovering degraded lands in the Peruvian Amazon by cover crops and sustainable agroforestry systems Peruvian Journal of Agronomy 1 (1): 1-7 (2017) ISSN (Versión electrónica) DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/pja.v1i1.1005> © Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú
- Alegre, J.C., and M.R. Rao. 1996. Soil and water conservation by counter hedging in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 57: 17-25.
- Alegre, J.C., M.R. Rao, L.A. Arevalo, W. Guzman, and M.D. Faminow. 2005. Planted tree fallows for improving land productivity and reducing deforestation in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110: 104-117.
- Barahona R y Sánchez S 2005 Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica* 6 (1): 69-82.
- Bouwman, A. F., and H. Booij. 1998. Global use and trade of feedstuffs and consequences for the nitrogen cycle. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 52: 261-267.
- Capulin, G. 2001. Evaluación del extracto líquido de estiércol bovino como insumo de nutrición vegetal en hidroponía. *Agrociencia* 35: 287-299.
- Dixon, R. (1995). Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gas? *Agroforestry systems*, 31:99-116.
- FAO 2011 Methodology for Sustainable Grassland Management (SGM). Methodology Verified Carbon Standard. Methodology VCS, Versión 3. 65p.

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/FAO-SGM-Methodology.pdf

Hernández, J. 2014 Captura de carbono en los suelos
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n2/e4.html>

Ibrahim, M. “almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de colombia, costa rica y nicaragua” 2016 agroforesteria en la américas N° 45
<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6275/7.Pineda.pdf?sequence=1>

INEC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2014
http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014_2015/2014/Informe%20ejecutivo%20ESPAC%202014.pdf

Informe sobre recursos zoogeneticos Ecuador. Rubén Haro Oñate 2003.

<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/genetics/documents/Interlaken/countryreports/Ecuador.pdf>

Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16 (1), 11-18.

Mieres, J. 2003 Methane emission from Holstein heifers grazing contrasting pastures in Uruguay. In: Proceedings of the 3rd International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference, Beijing, China.

Miner, J. 2000. Managing Livestock Wastes to Preserve Environmental Quality. Environmental Quality. Iowa State Univertisy Press. Ames, IA, USA. pp: 318.

Molina I C y Barahona R 2011 Estimación de las emisiones de metano por novillos cebados en dos sistemas contrastantes de producción de carne bovina *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 24 (3): 378.

Murgueitio E, Calle Z, Uribe F, Calle A and Solorio B 2011 Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* 261:1654-1663

- Naranjo, J. *et al* “Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia” *Livestock Research for Rural Development* 24 (8) 2012
- Navas, A. “Sistemas silvopastoriles para el diseño de fincas ganaderas sostenibles”. *Revista ACOVEZ* 37. 3. (2007):16–20.
- Navas, A. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria* N.º 19 / Enero - junio 2010
- Pezo D, Ibrahim M. *Sistemas silvopastoriles*. Colección de Modelos de Enseñanza Agroforestal No. 2. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. 1998.
- Primavesi, O. 2004 Dairy cattle enteric Methane measured in Brazilian tropical conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39 (3): 227-283.
- Siavosh Sadeghian Kh. 2001. Impacto de la ganadería sobre el suelo alternativas sostenible de manejo <http://www.desertificacion.gob.ar/mapas/modelos/impacto%20de%20la%20ganaderia%20sobre%20el%20suelo.pdf>
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; de Haan, C., 2006. *Larga sombra del ganado*. FAO, Roma 2006 <https://www.feedipedia.org/node/3141>