

Artículos de Revisión

DOI:10.18684/BSAA(14)135-144

# GANADERÍA ECO-EFICIENTE Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

## LIVESTOCK ECO - EFFICIENT AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

## PECUÁRIA ECO-EFICIENTE E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

SANDRA MORALES-VELASCO<sup>1</sup>, NELSON JOSÉ VIVAS-QUILA<sup>2</sup>, VICTOR FELIPE TERAN-GOMEZ<sup>3</sup>

### RESUMEN

*La alta demanda de recursos naturales (Suelo y agua) está dada por el incremento de la población mundial, que requiere áreas de expansión urbana, producción de alimentos y combustibles fósiles que soporten estas y otras actividades del hombre; que contribuyen con la acumulación de gases de efecto de invernadero en la atmosfera y el cambio climático. Bajo esta premisa, se vienen investigando en alternativas agropecuarias sostenibles que mantengan la productividad de los sistemas ganaderos, que sean resilientes ante las variaciones ambientales y contribuyan con la mitigación del calentamiento global. El presente escrito, documenta las principales estrategias de la ganadería eco-coeficiente; así como los efectos sobre el cambio climático.*

---

**Recibido para evaluación:** 24 de Junio de 2015. **Aprobado para publicación:** 17 de Febrero de 2016

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Profesora Titular, Magister en Recursos Hidrobiológicos, Ecóloga. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Profesor Titular, Doctor en Ciencias Agrarias, Zootecnista. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación TULL. Profesor Titular, Especialista en Ingeniería de Regadíos, Ingeniero civil. Popayán, Colombia

**Correspondencia:** samorales@unicauca.edu.co

## ABSTRACT

*The high demand for natural resources (soil and water) is given by the increase in world population, which requires urban expansion areas, food production and supporting these fossil fuels and other human activities; that contribute to the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere and climate change. Under this premise, they have been researching alternatives to maintain sustainable agricultural productivity of livestock systems, but they are resilient to environmental changes and contribute to the mitigation of global warming. This written documents the main strategies of eco-coefficient livestock; and the effects on climate change.*

## RESUMO

*A alta demanda por recursos naturais (solo e água) é dado pelo aumento da população mundial, que requer áreas de expansão urbana, produção de alimentos e apoio a estes combustíveis fósseis e outras atividades humanas; que contribuem para o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera e as mudanças climáticas. Sob esta premissa, foram pesquisando alternativas para manter a produtividade agrícola sustentável dos sistemas de produção animal, mas eles são resistentes às mudanças ambientais e contribuir para a mitigação do aquecimento global. Este documentos escritos as principais estratégias de eco-coeficiente de gado; e os efeitos sobre as mudanças climáticas.*

### **PALABRAS CLAVE:**

Sostenibilidad, Mitigación, Resiliencia.

### **KEYWORDS:**

Sustainability, Mitigation, Resilience.

### **PALAVRAS CHAVE:**

Sustentabilidade, Mitigação, Resiliência.

## INTRODUCCION

La creciente población mundial y el incremento en la demanda de alimentos plantean importantes retos para la agricultura, donde la producción mundial tendrá que aumentar en un 60% para el 2.050; usando tierras que ya están siendo cultivadas, todo esto bajo primicia de producir más, utilizando menos recursos naturales y al tiempo hacer frente a un clima cambiante [1].

Por lo tanto, el objeto de la agricultura va desde lo productivo hacia el desarrollo rural, medioambiental y de justicia social [2,3,4], ya que esta actividad es directamente responsable del 14% del gas de efecto de invernadero [5,6], y promueve un 17% adicional por cambio en el uso de la tierra [7].

En cuanto a la ganadería, emplea la mayor cantidad de suelos de vocación agrícola (80% en pastos y forrajes) y el 8% del agua que se utiliza en el mundo; genera el 37% de gas metano (CH<sub>4</sub>) provenientes de la fermentación entérica y del estiércol, 9% del total del CO<sub>2</sub>, 65% de las emisiones globales de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y emite el 64% del amoníaco global [8], por lo que la sostenibilidad de los sistemas ganaderos es cada vez más preocupante, enfrentando la necesidad de crear ambientes eco-eficientes para la adaptación al cambio climático.

El Centro Internacional en Agricultura Tropical – CIAT desarrolla investigaciones en forrajes mejorados, que permiten tener mayor eficiencia en la producción y se estima que pueden contribuir entre un 60-80 % del secuestro de car-

bono, pudiendo compensar las emisiones ocasionadas por la ganadería, controlar de la erosión, restaurar tierras degradadas y mejora de la biodiversidad [9].

El presente documento analiza aspectos básicos sobre los avances de la ganadería eco-eficiente, con el fin de tener una aproximación de los posibles beneficios de las diversas estrategias en sistemas ganaderos en términos de eficiencia de recursos naturales.

### Forrajes Tropicales Como Estrategia Para El Cambio Climático

El desarrollo de nuevas tecnologías biológicas que aporten soluciones efectivas frente al cambio climático, emisiones de gases efecto de invernadero y la degradación de los recursos naturales, ha llevado a la generación de paquetes tecnológicos, los cuales se basan en:

**Mejoramiento de Especies Forrajeras.** Las gramíneas nativas y naturalizadas se caracterizan por su baja a mediana productividad [10] y contenidos de proteína inferiores al 9% [11]. Durante los periodos de sequía la disponibilidad de materia seca de estas pasturas disminuye drásticamente, dando como resultado erosión del suelo (perdida de la cobertura) disminución en ganancia de peso y producción de leche [12].

Es así, como el fitomejoramiento en plantas forrajeras se basa en especies de reproducción asexual, que acumulan ciertas características genéticas a través de generaciones (Brachiaria cultivar Mulato II), lo que incrementa las posibilidades de perfeccionamiento de las especies, generando genotipos híbridos apomícticos que pueden convertirse en cultivares comerciales por las peculiaridades identificadas en cada ciclo de selección [13]. Dentro de las expresiones promovidas en el mejoramiento, se halla el incremento de la producción por hectárea (Cantidad y calidad del forraje) (Cuadro 1).

siones promovidas en el mejoramiento, se halla el incremento de la producción por hectárea (Cantidad y calidad del forraje) (Cuadro 1).

Praderas con especies del genero Brachiaria pueden incrementar la capacidad de carga a 3,5 UGG [14, 20] y en *M. maximus* hasta 3,2 UGG en periodo de lluvias y 1,1 en la estación seca [19], esta condición permite liberar áreas productivas para la agricultura y por ende disminuir la presión sobre ecosistemas naturales evitando la transformación del paisaje a praderas.

**Resistencia a Condiciones Ambientales.** Otro aspecto tenido en cuenta en el mejoramiento, es la resistencia a la sequía y/o inundación y persistencia en suelos pobres. Investigaciones realizadas con *B. mutica* muestran que la especie tiene un sistema radical que maximiza la extracción de humedad a lo largo del perfil del suelo, lo que permite mantener la turgencia y la actividad fotosintética hasta agotar la humedad disponible [19,20,21].

*B. decumbens* y *B. brizantha*, el patrón de extracción de humedad se restringe a los primeros horizontes (0-30 cm), respondiendo al déficit hídrico con un rápido cierre estomático y una menor producción de biomasa foliar, lo que permite inferir una adaptación a períodos de sequía cortos y/o suelos con una alta humedad disponible en los horizontes superficiales. En cuanto *B. humidicola* y *B. dictyoneura* tuvieron una menor variación en la producción de biomasa, contenido de agua y fotosíntesis al ser sometidas a la sequía, por lo cual pueden ser más exitosas a sequías más largas [21, 22, 23].

Las leguminosas tienen alta resistencia a la sequía, las raíces pivotantes les permiten extraer agua de las

Cuadro 1. Producción y calidad de algunos genotipos de pastos tropicales.

Nombre Científico	Nombre Común	Producción - Ton/MS/Ha/año	Proteína %
<i>Paspalum notatum</i>	Gramma	12	10
<i>Dyschanthiun aristatum</i>	Angelón	20	9
<i>Echinochloa polystachya</i>	Pasto Alemán	10	10
<i>Andropogun gayanus</i>	Carimagua, llanero	15	10
<i>Megatirsus maximus</i>	Mombasa, Massai, Guinea	30	14
<i>Brachiaria brizanta</i>	Marandú	20	14
<i>Brachiaria hibrido</i>	Mulato	25	15
<i>Brachiaria hibrido</i>	Cayman	20	17

[14,15,16,17,18, 19]

capas más profundas del suelo; se destacan *Cratylia argentea* (306 kg/ha/año), *Lablab purpureus* (1269,2 kg/ha/año), *Desmanthus virgatus* (1257,6 kg/ha/año) y *Canavalia brasiliensis* (1400 kg/ha/año) seleccionados como los forrajes potenciales para la alimentación de la estación seca [24, 25]. Otros estudios evidencian que *Brachiaria* híbrido cultivar Cayman (apomítico clon asexual) [26], posee tolerancia a las inundaciones y mayor cobertura del suelo (83% de área cubierta) [27]. La resistencia de los forrajes tropicales a condiciones extremas, permite que el suministro de alimento tienda a ser estable, persistiendo en el suelo y mitigando el efecto de agentes erosivos (suelo y agua); y por ende el contribuyendo con ciclo hidrológico (Percolación y lixiviación).

**Inhibición Biológica de la Nitrificación – BNI.** El nitrógeno es el elemento más abundante de la atmósfera (78%) en forma molecular ( $N_2$ ), el cual es de vital importancia para la formación de proteínas y del ADN a nivel celular. La asimilación de este elemento es mediante la oxidación biológica del amonio formando nitritos y nitratos. El ser humano, incrementa la productividad del suelo aplicando fertilizantes nitrogenados (urea o sulfato de amonio), los cuales al cumplir el ciclo se convierten en óxido nitroso [28], molécula que tiene el potencial de calentamiento de 298 veces más que una de dióxido de carbono [29]. Otro compuesto es el óxido nítrico (NO), que al interactuar con el vapor de agua puede caer al suelo en forma de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) (componente de la lluvia ácida) [30].

Científicos del Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT) han trabajado en el mejoramiento genético de las especies *Brachiaria humidicola* y *B. decumbes*, las cuales generan un exudado a través de las raíces llamado Brachialactona con el potencial de almacenar carbono en el suelo reducir emisiones tanto de metano y óxido nitroso debido a la capacidad de inhibir la nitrificación que realizan los microorganismos [31, 32,33, 34].

Se han identificado diferencias entre las especies forrajeras y en la capacidad de inhibición biológica del nitrógeno – IBN, que varía según las condiciones agroecológicas o edáficas de cada lugar [35]. Mediciones realizadas en Colombia en parcelas de *Brachiaria* indican una disminución del 90% en las tasas de oxidación de  $NH_4$  en el suelo y del  $N_2O$  en comparación con las parcelas sembradas con soja [36]. Lo anterior demuestra que IBN no solo contribuye en la mitigación de gases de efecto de invernadero GEI, sino también disminuye la

cantidad de fertilizantes nitrogenados al suelo generando un efecto socio-económico positivo en los lugares donde se utilicen especies con esta capacidad.

**Estrategias de Alimentación.** La ganadería aporta el 80% de las emisiones de  $CH_4$  y óxido nitroso del sector agropecuario [37,38]. Este es producido por la fermentación entérica de los alimentos en el tracto digestivo de los bovinos [39], generando compuestos (Ácidos grasos volátiles, butirato, etanol, lactato, succinato, amonio, hidrógenos y dióxido de carbono), los cuales son reducidos y convertidos en metano [40,41]. El  $CH_4$  es emanado vía eructos a la atmósfera, generando una emisión diaria que varía entre 150-420 L para caso de bovinos [40].

Algunos investigadores proponen que la nutrición animal debe enfocarse en el tipo de carbohidratos, formas de alimentación, desempeño animal, aditivos, taninos e Inhibidores de la enzima (HMG-CoA) reductasa [42,43,44].

Los Carbohidratos estructurales, como la celulosa, hemicelulosa son fermentados a un ritmo menor produciendo más metano a diferencia de los solubles (almidones y azúcares) [45,46,47]. Investigaciones realizadas in vitro con *Lolium sp* y 12% más de azúcares, se obtuvo una reducción de metano en un 10% [48], mientras estudios de campo con la misma especie registraron una disminución de metano en un 24% [39,48, 49].

Las leguminosas contienen proteína de alta digestibilidad que incrementan el consumo y la tasa de paso del alimento, disminuyendo la degradabilidad de la dieta, lo que puede reducir las emisiones de metano entre un 15-30%, dependiendo de la composición y cantidad de alimento suministrado [50,51,52].

Otro efecto de la inclusión de leguminosas, son la presencia de metabolitos secundarios (taninos y las saponinas), los cuales reducen la digestibilidad de las proteínas en el rumen, previenen el timpanismo e inhiben la metalogénesis [42, 52], por lo cual la selección de los forrajes dentro de los sistemas ganaderos debe estar enfocado en los requerimientos nutricionales del animal; así como el tipo de planta que contribuya a la ganancia de peso y mitigue el impacto por emisiones de GEI.

**Diversificación del Sistema.** Contribuye al suministro de los bienes y servicios del ecosistema, como man-

**Cuadro 2.** Producción forrajera de algunas asociaciones.

Nombre Científico	Producción - Ton/MS/ Ha/año
<i>Mulato II + Canavalia brasiliensis</i>	51,8
<i>Megatirus maximus + C. brasiliensis</i>	75
<i>B. brizanta + Canavalia brasiliensis</i>	40,3
<i>Cynodon plectostachyus + L. leucocephala</i>	35
<i>Cynodon nlemfuensis + A. pintoii</i>	40
<i>Cynodon nlemfuensis + Desmodium ovalifolium</i>	45
<i>P purpureum + Centrosema macrocarpum</i>	32

[15,55,56]

tenimiento del suelo, captura de CO<sub>2</sub>, biodiversidad, regulación hídrica y climática, aumentando de esta manera la resiliencia al cambio climático (fenómeno del niño o niña) e incrementa la productividad del sistema ya que proporciona un equilibrio en la dieta y crea oportunidades de empleo.

Se basa en la asociatividad de las especies, dado a que la condición heliofita de las gramíneas pueden ocasionar efectos negativos sobre la producción forrajera cuando no hay la suficiente radiación solar [53], por lo cual, la diversificación se basa en el diseño o estrategias de sistemas silvopastoriles, donde se asocia la gramínea con una o varias leguminosas en diferentes estratos vegetales (herbácea, arbustiva y arbórea), que interactúan entre sí, mejorando la oferta forrajera (Cuadro 2)[54].

El incremento de la riqueza de especies dentro de los pastizales evidencia un claro beneficio para los ganaderos debido a que genera una mayor estabilidad de la producción forrajera, sugiriendo asociar 5 o más especies en las praderas, ya que esto mejoraría la calidad en cuanto a proteína y mantenimiento de la cobertura del suelo [57,58].

**Regulación Climática.** La ganadería ecoeficiente impulsa sistemas multi-estratos, integrando árboles que generen sombra y brinden protección contra radiación solar, vientos fuertes y lluvias torrenciales, que puedan afectar la productividad del agrosistema. Algunos investigadores argumentan que la diversificación con árboles crean microclimas donde la temperatura bajo sombra puede disminuir de 2 a 5°C [59] mitigando el efecto del sol sobre la humedad de las plantas y el

suelo; haciendo que los sistemas sean resilientes y se adapten al cambio climático [60].

En el Caribe Colombiano se establecieron árboles maderables y forrajeros en diferentes estratos, con el fin de mitigar la incidencia de los vientos (cálidos y secos) y largos periodos de sequía (8 a 10 meses/año) generando confort a los animales y disminuyendo el estrés calórico, que unido a un pastoreo racional se mejoraron las ganancias de peso en un ambiente con sombra tenue [59,61].

La diversificación con especies arbóreas y/o arbustivas contribuyen con termorregulación en climas fríos, protege al animal de no emplear parte de su energía para contrarrestar el frío, manteniendo su temperatura corporal y disminuyendo la incidencia de neumonías en animales jóvenes [62,63,64].

La adaptación a cambios extremos se relaciona positivamente con la variedad; es decir a mayor riqueza de especies mayor productividad, mejor cobertura del suelo y sostenibilidad bajo condiciones adversas [65].

**Manejo del Suelo.** La diversidad favorece la restauración de suelos y paisajes; debido a que la mezcla con leguminosas contribuyen a la fijación del nitrógeno atmosférico y por ende la actividad de los organismos del suelo. En Colombia se han establecido sistemas silvopastoriles intensivos (10000 – 40000 árboles/ha) con *Leucaena leucocephala*, la cual presenta alta flexibilidad y resistencia al ramoneo, fijan nitrógeno, tolerante a la sequía, alta capacidad de rebrote y aceptación total por los rumiantes [65, 66].

El aporte de hojarasca, es de gran importancia para el manejo y reciclaje de nutrientes en el suelo, donde *Canavalia brasiliensis* aporta hasta 159 g/m<sup>2</sup> incrementando los valores para N-total (0,001 a 0,6), % M.O (9,3, a 11,7) y P- ppm (2,8, a 16,6), evidenciando el efecto positivo sobre la fertilidad del suelo [67]. Algunos autores sugieren la utilización de especies de folíolos pequeños, como el de la *Leucaena sp*, porque permiten el paso del sol hacia la gramínea y aportan hojarasca que se descomponen rápidamente aportando nutrientes al suelo [68].

Los árboles dentro de las fincas pueden mejorar la conectividad entre los paisajes, si se hallan de forma lineal (Cortinas rompe vientos, cercos vivos y/o quebradas) sirven de corredores biológicos para algunas especies, constituyéndose en áreas de amortiguamiento a lo largo de las praderas [69].



**Regulación Hídrica.** Los cambios en la estructura y composición de los sistemas ganaderos contribuyen con el ciclo del agua, dado a que la estratificación vegetal reduce la evaporación del suelo, debido a la intercepción del sol y al aporte de hojarasca que protege el suelo, mejora la textura y estructura del suelo, que regula la infiltración del agua, facilita la recarga de acuíferos y disminuye la escorrentía superficial y/o procesos erosivos [53,70,71].

Cuando las gotas de lluvia son interceptadas por los diferentes estratos del sistema, una parte del agua se evapora a la atmósfera, otra parte cae a la superficie del suelo, otra parte queda retenida en el follaje y tronco, y el resto es canalizado hacia el suelo a través del eje principal del tallo y se infiltra en el área más cercana a la base del árbol [72], prolongando la fase vegetativa de las gramíneas asociadas a los árboles [73]. Unido a lo anterior, se evidencia un mantenimiento de caudales y conservación de las fuentes hídricas, debido a que las diversas estructuras vegetales retienen partículas, reduciendo la sedimentación y permitiendo un escurrimiento del agua hacia las fuentes [74].

**Captura de carbono.** Los cambios en el uso del suelo y en las coberturas vegetales ocasionados por la expansión de la frontera agrícola ha reducido el stock de carbono, siendo liberado hacia la atmósfera [75].

El carbono orgánico se acumula en la biomasa aérea, rizosfera y en el carbono orgánico del suelo; mostrando que los árboles tienen una mayor capacidad de secuestrar carbono [12,76]; sin embargo evaluaciones del balance de carbono en praderas, evidencian que los pastos constituyen un importante sumidero de CO<sub>2</sub> atmosférico, debido a la capacidad fotosintética ( $\zeta$ ) y al sistema radicular (estolonífero) que retiene carbono en la rizosfera [77, 78]. La cantidad acumulada varía según el tiempo de establecimiento de la pradera y del componente forestal, por la lignificación y cantidad de biomasa producida [82]. En el cuadro 3 se anotan las diferencias de acumulación de carbono bajo diferentes sistemas.

Los árboles en el sistema es una estrategia que contribuye con la reducción de las deforestaciones y de la degradación de áreas naturales, aumenta los stocks de carbono y el suministro de productos maderables en praderas antes mono especializadas, es decir se constituye en una herramienta para los programas de REDD+.

**Cuadro 3.** Stocks de carbono en sistemas ganaderos.

Sistema	Ton/Ha/año
Monocultivo de pasturas naturales y/o naturalizadas	135
Monocultivo de pasturas mejoradas	159
Asociación de Pasturas naturales – Árboles	164
Asociación de Pasturas mejoradas – Árboles	173
Monocultivo de <i>Brachiaria brizantha</i>	68
Asociación de <i>Megatirus maximus</i> con <i>Alnus acuminata</i>	185

[79, 80, 81, 82].

**Biodiversidad.** La variabilidad genética de los recursos forrajeros, incrementa los hábitats y oferta alimenticia para las especies de animales asociados a ellos, aumentando las interacciones biológicas y las sinergias promoviendo procesos y servicios ecológicos [83].

Entre los servicios ofertados, se halla la presencia de hormigas, escarabajos estercoleros, lombrices de tierra y otros, que contribuyen con la mineralización de la materia orgánica del suelo [59,85,87]. Otra funcionalidad es la polinización, ya que la abundancia de este grupo permite incrementar la fructificación de algunas especies [86].

Estudios realizados en El Hatico (Colombia), muestra diferencias en la riqueza de aves: Monocultivos de caña (17), Bosque de guadua (27), Relicto de Bosque seco (43), Sistema silvopastoril asociado con *Cynodon nlemfuensis* (46), Silvopastoril multiestrata con *Prosopis juliflora* y *L. leucocephala* (133) [86].

El incremento de la biodiversidad de plantas incrementa las sinergias entre los componentes del agroecosistema, dando como resultado una heterogeneidad de los hábitats y mejorando el paisaje ganadero, el cual hasta hace poco se basaba en praderas mono especializadas susceptibles a cambios climáticos [69].

## CONCLUSIONES

El mejoramiento genético de las especies forrajeras y el incremento de la diversidad en cuanto a estructura y composición son las principales estrategias para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Los sistemas agrodiversos, integran la eficiencia, flexibilidad y productividad, capaces de afrontar los retos del futuro como disminuir el uso de agroquímicos; por lo que una vegetación diversificada incrementa la cantidad de nichos y de hábitats para los enemigos naturales, reduciendo el daño a los cultivos por parte de los organismos fitófagos

La ganadería Ecoeficiente mantiene la resiliencia del sistema ganadero, proveyendo bienes y servicios ambientales que contribuyen con la rentabilidad económica del agroecosistema.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, Sistema General de Regalías - SGR, Gobernación del Departamento del Cauca, COAGRO USUARIOS Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, por el apoyo en la redacción al presente documento.

## REFERENCIAS

- [1] GERBER, P.J., et al. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería—Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma (Italia): 2013, 154 p.
- [2] INTERNATIONAL ASSESSMENT OF AGRICULTURAL KNOWLEDGE, SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT (IAASTD). Global Report. Washington DC (USA): Island Press, 2009.
- [3] GODFRAY, C., et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(1), 2010, p. 812–818.
- [4] SACHS, J.D., et al. Monitoring the World's agriculture. *Nature*, 466(1), 2010, p. 558–560.
- [5] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Fourth assessment report. Cambridge, UK (USA): Cambridge University Press, 2007.
- [6] HARVEY, M. and PILGRIM, S. Competition for land: food and energy, Paper prepared for UK Government Foresight Project on Global Food and Farming Futures, UK Government, London. London (United Kingdom): 2010.
- [7] VERMEULEN, S., et al., Climate change, agriculture and food security: a global partnership to link research and action for low-income agricultural producers and consumers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1), 2012, p.128-133.
- [8] STEINFELD, H., et al., *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- [9] PETERS, M., et al. Tropical Forage-based Systems to Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Eco-Efficiency: From Vision to Reality*. CIAT, 2013, p. 214.
- [10] WILKINS, R.J. Forages and their Role in Animal Systems. Pp. 1-14 In: Givens, DI; Owen, E; Axford, RFE; Omed, HD. (Eds.). *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition* Wallingford, UK, CAB International.
- [11] POPPI, D.P. and MCLENNAN, S.R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science*, 73(1), 1995, p.278-290.
- [12] BARAHONA, R., SÁNCHEZ, M.S., MURGUEITIO, E. y CHARÁ, J. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. *Revista Carta Fedegán*, 140(1), 2014, p. 66-69.
- [13] CASTRO, U., et al. Morphological and molecular identification of *Prosapia simulans* (Walker) (Hemiptera: Cercopidae), and screening and mechanisms of resistance to this spittlebug in *Brachiaria* hybrids. *Neotropical entomology*, 36(4), 2007, p. 547-554.
- [14] PETERS, M., FRANCO, L.H., SCHMIDT, A. e HINCAPIE, B. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del Trópico Americano. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2011, 222 p.
- [15] VIVAS, N.J., et al. Evaluation of the Establishment of Livestock Feed Association for Tropical American Systems. Presented at the Tropentag 2015: Management of land use systems for enhanced food security : conflicts, controversies and resolutions. Göttingen (Germany): 2015, 220p.
- [16] PODIO, M., et al. Characterization and expression analysis of Somatic Embryogenesis Receptor Kinase (SERK) genes in sexual and apomictic *Paspalum notatum*. *Plant molecular biology*, 84(5), 2014, p. 479-495.
- [17] AVILA, P., LASCANO, C.E., MILES, J.W. y RAMÍREZ, G. Calibración de NIRS para N en *Brachiaria*. Reporte anual 2003 del proyecto IP-5. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2014.

- [18] HEINEMANN, A.B., et al. Potencial produtivo e composição bromatológica de seis gramíneas forrageiras tropicais sob duas doses de nitrogênio e potássio. *Pasturas Tropicales*, 2005, 1(1), p. 34-41.
- [19] HERNÁNDEZ, F.L. et al. Establecimiento y evaluación del guinea *Panicum máximum* cv. Massai en la hacienda Guachicono del Bordo, Patía (Cauca). *Revista Ciencia Animal*, 2015, 1(9), p. 125-154.
- [20] ELLSWORTH, L.M., et al. Spatial and temporal variability of guinea grass (*Megathyrsus maximus*) fuel loads and moisture on Oahu, Hawaii. *International journal of wildland fire*, 2013, 22(8), p. 1083-1092.
- [21] GÓMEZ, S., GUENNI, O. and BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*, 2013, 68(3), p. 395-407.
- [22] GUEVARA, E. y GUENNI, O. Densidad y longitud de raíces en plantas de *Leucaena leucocephala* (Lam) De Wit. *Multiciencias*, 2014, 13(4), p. 372-380.
- [23] BRODERSEN, C.R., et al. Embolism spread in the primary xylem of *Polystichum munitum*: implications for water transport during seasonal drought. *Plant, cell and environment*, 39(2), 2016, p. 338-346.
- [24] KABIRIZI, J, et al. Dry season forages for improving dairy production in smallholder systems in Uganda. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), 2013, p. 212-214.
- [25] KIGONGO, J., et al. Assessing drought tolerance of five improved forage legumes to improve smallholder dairy productivity in Uganda. Stuttgart (Alemania): Agricultural development within the rural-urban continuum, 2013.
- [26] PIZARRO, E.A., et al. *Brachiaria hybrids*: potential, forage use and seed yield. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(1), 2013, p. 31-35.
- [27] Pizarro E.A. Cayman, *Brachiaria hybrid* cv. CIAT BR02/1752 [online]. 2012. Disponible: <http://www.tropseeds.com/wpcontent/uploads/2012/04/Tecnical-Sheet-CIAT-BR02-1752.pdf>. [Consultado el 15 de Diciembre del 2015].
- [28] VALLEJO, M.M., BONILLA, C.R. y CASTILLA, L.A. Evaluación de la asociación bacterias fijadoras de nitrógeno-líneas interespecíficas de arroz-nitrógeno. *Typic haplustalf. Acta Agronómica*, 57(1), 2007, p. 43-49.
- [29] SOLOMON, S. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press, 2007.
- [30] BLANCO, J., ÁLVAREZ, A. y MORGAN, H.O. Contribución de la ganadería a las emisiones de gases de efecto invernadero. *Reseña bibliográfica. Ciencia y tecnología ganadera*, 5(1), 2011, p. 51-57.
- [31] PETERS, M., et al. Challenges and opportunities for improving eco-efficiency of tropical forage-based systems to mitigate greenhouse gas emissions. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 1(2), 2013, p. 156-167.
- [32] DJIKENG, A., et al. Climate-smart *Brachiaria* grasses for improving livestock production in East Africa. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*, 2(1), 2014, p. 38-39.
- [33] MORETA, D.E., et al. Biological nitrification inhibition (BNI) in *Brachiaria* pastures: A novel strategy to improve eco-efficiency of crop-livestock systems and to mitigate climate change. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 2(1), 2014, p. 88-91.
- [34] SUBBARAO, G.V., et al. Biological nitrification inhibition (BNI) activity in sorghum and its characterization. *Plant and soil*, 366(1-2), 2013, p. 243-259.
- [35] SUBBARAO, G.V., et al. Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(41), 2009, p. 17302-17307.
- [36] SUBBARAO, G.V., et al. Biological Nitrification Inhibition—A Novel Strategy to Regulate Nitrification in Agricultural Systems. *Advances in Agronomy*, 114(1), 2012, p. 249.
- [37] VELEZ-TERRANOVA, O.M., et al. Use of plant secondary metabolites to reduce ruminal methanogenesis. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 2014, p. 489-499.
- [38] HAVLÍK, P., et al. Climate change mitigation through livestock system transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), 2014, p. 3709-3714.
- [39] DEL PRADO, A., et al. Exploring systems responses to mitigation of GHG in UK dairy farms. *Agriculture, ecosystems and environment*, 136(3), 2010, p. 318-332.
- [40] JANSSEN, P.H., Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology*, 160(1), 2010, p. 1-22.



- [41] BANIK, B.K. et al. Variability of in vitro ruminal fermentation and methanogenic potential in the pasture legume biserrula (*Biserrula pelecinus L.*). *Crop and Pasture Science*, 64(4), p. 2013, 409-416.
- [42] RAMÍREZ, J.F., OCHOA, S. y NOGUERA, R. Efecto de la lovastatina sobre la producción de metano y la digestibilidad de la materia seca in vitro del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*). *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 10(2), 2015, p. 111-121.
- [43] DOUXCHAMPS, S., et al. Farm-scale tradeoffs between legume use as forage versus green manure: The case of *Canavalia brasiliensis*. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(1), 2014, p. 25-45.
- [44] THORNTON, P.K. and HERRERO, M. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 2010, p. 19667-19672.
- [45] CZERKAWSKI, J.W. Methane production in ruminants and its significance. *World Review and Nutrition and Dietetics*, 11, 1969, p. 240-282.
- [46] HOLTER, J.B. and YOUNG, A.J. Methane prediction in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 75(8), 1992, p. 2165-2175.
- [47] RAMÍREZ, J.F., OCHOA, S.P. and NOGUERA, R. Ruminal methanogenesis and mitigation strategies. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 9(2), 2014, p. 307-323.
- [48] LOVET, D.K., et al. Manipulating enteric methane emission and animal performance of late lactation dairy cows through concentrate supplementation at pasture. *Journal of Dairy Science*, 88(2), 2005, p. 836-2842.
- [49] NAVARRO-VILLA, A., et al. Modifications of a gas production technique for assessing in vitro rumen methane production from feedstuffs. *Animal feed science and technology*, 166(1), 2011, p. 163-174.
- [50] KAMRA, D.N., CHAUDHARY, L.C., SINGH, R. and PATHAK, N.N. Influence of feeding probiotics on growth performance and nutrient digestibility in rabbits. *World Rabbit Science*, 4(2), 2010, p. 85-88.
- [51] GURIAN-SHERMAN, D. Raising the steaks: global warming and pasture-raised beef production in the United States. Cambridge (USA): Union of Concerned Scientists, 2011.
- [52] VARGAS, S. Diagnóstico de la fertilidad físico-química del suelo en un agroecosistema lechero. *Pastos y Forrajes*, 25(2), 2002, p. 99-105.
- [53] MEYLAN, L. Design of cropping systems combining production and ecosystem services: developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers [Ph.D. Tesis]. Montpellier (Francia): Montpellier Supagro. 2012, 145 p.
- [54] MURGUEITIO, E., et al. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26(1), 2013, p. 313-316.
- [55] SANTACRUZ, E.I., GUERRERO, E.A. y CERÓN, A.G. Caracterización botánica, nutricional y fenológica de especies arbóreas y arbustivas de bosque muy seco tropical. *Revista Ciencia Animal*, 6(1), 2013, p. 109-124.
- [56] ESPINOZA, F, et al. Evaluación del pasto king grass (*Pennisetum purpureun cv. king grass*) en asociación con leguminosas forrajeras. *Zootecnia Tropical*, 19(1), 2001, p. 59-71.
- [57] ROY, J. How does biodiversity control primary productivity. *Terrestrial global productivity*, 2001, p. 169-186.
- [58] WRAGE, N., et al. Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. *Biodiversity and Conservation*, 20(14), 2011, p. 3317-3339
- [59] MURGUEITIO, E., et al. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 2011, p.1654-63.
- [60] JARVIS, A., RAMÍREZ, J. y LADERACH, P. Desafíos para la adaptación al cambio climático en el sector agropecuario y las oportunidades para la adopción de sistemas silvopastoriles. Panamá (Panamá): Resúmenes VI Congreso Internacional de Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible, Serie técnica 15, 2011, p 158-160.
- [61] VOISIN, A. Dinámica de los pastos. Madrid (España). Tecnos, 1962, 452 p.
- [62] CAÑAS, R. y AGUILAR, C. Uso de la bioenergética en producción de bovinos. San José (Costa Rica): IICA-RISPAL, 1992, p. 7-100.
- [63] ALEXANDER, G., et al. Reduction in lamb mortality by means of grass windbreaks: results of a five years study. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, 113(1), 1980, p. 329-332.
- [64] MIGONGO-BAKE, W., et al. Climate, animal and agroforestry Meteorology and Agroforestry: Proceedings. International Workshop to the Applications of the Meteorology to Agroforestry Systems

- Planning and Management, Nairobi (Kenia). Nairobi (Kenia): ICRAF, 1987, No. 30551.
- [65] VOGEL, A., SCHERER-LORENZEN M. and WEIGELT, A. Grassland Resistance and Resilience after Drought Depends on Management Intensity and Species Richness. *Journal Plos One*, 7(5), 2012, p. 1-10.
- [66] MOLINA-BOTERO, I.C, et al. Producción de metano in vitro de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(2), 2013, p. 15-31.
- [67] ESCUDERO, S., et al. *Canavalia brasiliensis*, una opción para la recuperación de suelos degradados en el suroccidente del Departamento del Cauca – Colombia. Lima (Peru): Memorias Congreso Latinoamericana De Agroecología, SOCLA 2011, p. 234.
- [68] HARVEY, C., et al. Climate-smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. *Conservation Letters* 7(2), 2013, p.77-90.
- [69] DEFRIES, R. and ROSENZWEIG, C. Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 2010, p.19627-19632.
- [70] VERBIST, K., SANTIBAÑEZ, F., GABRIELS, D. and SOTO, G. Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe. Documento Técnico del PHI-LAC, 25, 2010, p.48.
- [71] GÓMEZ-DELGADO, F., et al. Modelling the hydrological behaviour of a coffee agroforestry basin in Costa Rica. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(1), 2011, p. 369-392.
- [72] TORRES, F. Role of woody perennials in animal agroforestry. Nairobi (Kenya): In Zulberti, Ed. E. Zulberti, ICRAF, 1987. 266 p.
- [73] PRESSLAND, A.J. Rainfall partitioning by an arid woodland (*Acacia aneura* F. Muell.) in south-western Queensland. *Australian Journal of Botany*, 21(2), 1973, p. 235-45.
- [74] IBRAHIM, M., et al. Multistrata silvopastoral systems for increasing productivity and conservation of natural resources in Central America. In *International grassland congress*, 19(1), 2001, p. 645-649.
- [75] WEST, P.C., et al. Trading carbon for food: Global comparison of carbon stocks vs. crop yields on agricultural land. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 10(46), 2010, p. 19645-19648.
- [76] SAMPAIO, E.P. Estudio de las prácticas culturales en sus relaciones con agricultura, suelo y ambiente. *Información tecnológica*, 20(3), 2009, p. 113-123.
- [77] SOUSSANA, J.F., et al. Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121(1), 2007, p. 121-134.
- [78] CERNUSCA, A., et al. Effects of Land-Use Changes on Sources, Sinks and Fluxes of Carbon in European Mountain Grasslands. *Ecosystems* 11(1), 2008, p. 1335–1337.
- [79] ORREGO, S.A. y DEL VALLE, J.I. Existencias y tasas de incremento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia. Medellín (Colombia): CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia, IDEA, 2002, 32 p.
- [80] SEGURA, MA. Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central [Tesis de Maestría en Scen-tiae]. Turrialba (Costa Rica): CATIE, 1999, 115 p.
- [81] RUIZ, A. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Turrialba (Costa Rica): CATIE, 2002, 111 p.
- [82] ANGUIANO, J.M., AGUIRRE, J. y PALMA, J.M. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1), 2013, p. 149-160.
- [83] KREBS, C.J. *Ecological methodology*. 3 ed. California (USA): Menlo Park, 607 p.
- [84] HOLT-GIMENEZ, E. and PATEL, R. *Food rebellions: the real story of the world food crisis and what we can do about it*. Oxford (UK): Fahumu Books and Grassroots International, 2009.
- [85] LETOURNEAU, D.K., et al. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications*, 21(1), 2011, p. 9-21.
- [86] CÁRDENAS, G. Comparación de la composición y estructura de la avifauna en diferentes sistemas de producción [Tesis Biólogo]. Cali (Valle): Universidad del Valle, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, 1998, p. 28-30.
- [87] CARMONA CJ, BOLÍVAR MD, GIRALDO AL. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 2005, p. 49–63.
- [88] BRITAIN, C., KREMEN, C. and KLEIN, A. M. Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. *Global Change Biology*, 19(1), 2013, p. 540-547.