



Revisión [Review]

**LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS (SSPi),  
HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO  
CLIMÁTICO**

**[INTENSIVE SILVOPASTORAL SYSTEMS (ISPS), MITIGATION AND  
ADAPTATION TOOL TO CLIMATE CHANGE]**

**Enrique Murgueitio R.<sup>1\*</sup>, Julián Chará O.<sup>1</sup>, Rolando Barahona R.<sup>2</sup>,  
César Cuartas C.<sup>1</sup> and Juan Naranjo R.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción  
Agropecuaria – CIPAV. Email: enriquem@fun.cipav.org.co*

<sup>2</sup>*Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias,  
Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín*

*\*Corresponding author*

**RESUMEN**

Los sistemas silvopastoriles intensivos SSPi empiezan a considerarse como una herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático (CC) en la medida que logren expandirse. El SSPi pueden producir 12 veces más carne que el pastoreo extensivo y 4.5 veces más que los pastos mejorados sin árboles pero las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) no se incrementan en igual proporción siendo 6.8 y 2.8 veces mayores en el SSPi respectivamente, razón por la cual las emisiones del mismo gas por tonelada de carne son 1.8 veces menores en el SSPi que en el pastoreo extensivo. En pastoreo extensivo, para producir 10,000 toneladas de carne se requieren casi 150,000 hectáreas de tierra, que además tienen un balance negativo de emisiones de CO<sub>2</sub> eq (más de 48,000 ton). Por el contrario, si la misma cantidad de carne se produce con SSPi, se requieren tan solo algo más de doce mil hectáreas que además tienen un balance de GEI positivo, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>eq en más de 3,000 toneladas. En cuanto a adaptación al CC, los SSPi la favorecen porque mantienen la humedad del suelo, reducen las altas temperaturas ambientales en los potreros mejorando también la productividad y calidad de los forrajes, además de reducir la estacionalidad de la producción de carne y leche. En condiciones de la región del Caribe seco de Colombia, los SSPi reducen la temperatura promedio anual (2 a 3 °C; en los días más calientes las diferencias llegan a ser hasta de 13°C); incrementan la humedad relativa en las regiones secas (entre 10 y 20%) y reducen la evapotranspiración (1.8

mm/día). Se concluye que es los SSPi aportan a la mitigación y la adaptación de la ganadería tropical al CC.

**Palabras claves:** adaptación; cambio climático; ganadería tropical; mitigación; Sistemas silvopastoriles intensivos – SSPi.

**SUMMARY**

Intensive silvopastoral systems (iSPS) are emerging as a tool for mitigation and adaptation of cattle ranching to climate change (CC). Under iSPS, 12 times more beef is produced than under extensive pastures and 4.5 more beef than under improved pastures without trees, but methane (CH<sub>4</sub>) emissions do not increase in the same proportion being 6.8 and 2.8 higher in the iSPS, respectively. In consequence, methane emissions per ton of beef produced are 1.8 times lower in the iSPS as compared with extensive pastures. Producing 10,000 tons of meat per year requires almost 150,000 has of extensive pastures that have a negative emission balance (more than 48,000 ton of CO<sub>2</sub> eq). Producing the same amount of meat in iSPS requires only around 12,000 has with a positive balance of more than 3,000 ton of CO<sub>2</sub> eq reduced. ISPS also contribute to the adaptation of cattle farming to CC, since they maintain soil moisture, reduce environment temperature while improving productivity and quality of forage and reduce seasonality of beef and milk production. In the dry Caribbean region of Colombia, iSPS reduce average annual temperature (2 to 3 °C; with

differences of up to 13 °C in the warmest days), increase relative humidity in driest regions by 10 to 20% and reduce evapotranspiration (1.8 mm/day). Thus, iSPS contribute to mitigation and adaptation of tropical cattle ranching to CC.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas ganaderos de pastoreo en el mundo en su mayor extensión son totalmente dependientes de la disponibilidad de los recursos naturales y son afectados por el cambio climático (CC). Este proceso global genera un aumento de la variación interanual y estacional de las variables que determinan la disponibilidad de forraje y trae como consecuencia la reducción en la productividad pecuaria (Steinfeld *et al.*, 2009). Algunas modelaciones que se han hecho a nivel mundial señalan que los sistemas ganaderos que dependen del pastoreo serán drásticamente afectados particularmente en África, Australia, América Central y Asia Meridional. En estas zonas, algunos estudios pronostican hasta el 50% de pérdida de biomasa disponible (Nardone *et al.*, 2010).

En virtud del CC, el agua será el principal punto débil en común de todos los sistemas ganaderos (CAWMA, 2007) y el segundo factor más crítico del planeta después del acceso a los alimentos. Se calcula que el 64% de la población mundial vivirá en cuencas con escasez del recurso hídrico en 2025, como resultado del crecimiento poblacional y el incremento de la demanda por diferentes usuarios (Rosegrant *et al.*, 2002).

De acuerdo a diferentes modelos, habrá un cambio en la precipitación y el caudal disponible en diferentes áreas del mundo que va desde una reducción de la precipitación en las zonas más áridas a un incremento en regiones del hemisferio norte y en zonas húmedas que pueden conllevar a problemas por exceso de precipitación estacional, calidad de agua y riesgos de inundaciones (Nakicenovic *et al.*, 2000).

Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos SSPi responden a la necesidad de reconvertir la ganadería tropical en una actividad rentable generadora de bienes demandados por la población (carne, leche, pieles, maderas, frutas) con inocuidad, bienestar animal y al mismo tiempo generar servicios ambientales como la protección de fuentes hídricas, la rehabilitación de la fertilidad del suelo y la conservación de la biodiversidad. Por su diseño estructural, su composición y los procesos de manejo recomendados, los SSPi empiezan a considerarse por los investigadores, empresarios y decisores de política

**Key Words:** adaptation; climate change; Intensive silvopastoral systems – iSPS; mitigation; tropical cattle ranching.

como una herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático en la medida que logren expandirse (Murgueitio *et al.*, 2011).

## CONTRIBUCIONES DE LOS SSPi A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para reducir los efectos negativos de la ganadería de pastoreo al medio ambiente, en especial a las mayores emisiones de gases con efectos de invernadero - GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub>) se ha propuesto una intervención integrada que incluye reducción de la deforestación y del uso del fuego como práctica de manejo, mejoramiento de la dieta de los animales, empleo de fuentes naturales de nutrientes (fijación de nitrógeno atmosférico y reciclaje de nutrientes) y estímulo a procesos biológicos en sustitución de los agroquímicos (Chará *et al.*, 2011).

Los paisajes ganaderos intervenidos con visión de sustentabilidad realizan en forma simultánea la conservación de bosques nativos, humedales y sabanas naturales, mientras que la matriz de pastos sin árboles se transforma en un territorio agroforestal mediante la combinación de diferentes arreglos espaciales como el manejo de la sucesión vegetal, las cercas vivas, barreras rompevientos, los bancos de forraje para corte y acarreo, el pastoreo en plantaciones forestales, los árboles dispersos en potreros y los sistemas silvopastoriles intensivos que, en conjunto, conforman un sistema productivo estratificado con una alta diversidad vegetal y animal (Giraldo *et al.*, 2011; Chará y Giraldo, 2011).

El incremento en la productividad primaria del agroecosistema ganadero al tener más árboles, arbustos forrajeros, arvenses y pastos vigorosos contribuye a mitigar el CC a través de varios mecanismos que se resumen así:

- Incremento de los depósitos de carbono en el suelo y la vegetación leñosa.
- Reducción de emisiones de metano por mayor eficiencia en el rumen del ganado.
- Menores pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera por rápido y eficiente reciclaje de excretas.

La vegetación arbórea y arbustiva juega un papel fundamental en el paso del dióxido de carbono a formas químicas sólidas en especial las cadenas de

carbohidratos asociados a lignina. Las raíces de estas plantas penetran en varios horizontes del suelo y contribuyen a aumentar la porosidad y el intercambio gaseoso en el suelo. Por su parte, la hojarasca es una fuente de alimento y refugio de una gran cantidad de organismos que participan en el proceso de descomposición (miriápodos, lombrices de tierra, escarabajos y otros) y estos a su vez mejoran las características del suelo al airear, descompactar, acelerar el reciclaje de nutrientes y procesar rápidamente la materia orgánica de origen vegetal y animal. El carbono orgánico del suelo puede llegar a ser tres veces mayor (1550 Pg) que el retenido en los organismos vivos (550 Pg) (Lal *et al.*, 1995), razón por la cual "la dinámica del carbono en la biosfera depende en gran medida de lo que ocurra en los suelos" (Moreno y Lara, 2003). Entonces, pequeños cambios en las reservas del carbono orgánico del suelo pueden tener un efecto sustancial al disminuir o aumentar los niveles de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y consecuentemente en el clima global. La acción conjunta de los escarabajos y las lombrices en los silvopastoriles intensivos SSPi, en predios ganaderos del valle del río Cesar en el caribe seco de Colombia degrada el estiércol bovino en menos de 10 días y remueve hasta 1.5 kg de suelo por cada bosta durante todo el proceso de degradación (Giraldo y Murgueitio, 2010).

La fermentación entérica y la degradación microbiana de las heces, son los procesos que más contribuyen al aumento de las emisiones de GEI, principalmente de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. El metano es producido durante el proceso digestivo que ocurre en el rumen y en el ciego (en herbívoros no rumiantes), y es considerado una pérdida del potencial energético de los alimentos. Los principales factores que afectan la emisión de metano son el tipo de animal y las características nutricionales de la dieta como el consumo y la digestibilidad (IPCC, 2006).

Los SSP contribuyen a que la actividad ganadera reduzca sus emisiones de GEI, a través de la captura de carbono en árboles y suelos debido al aumento de la cobertura vegetal y a la disminución de los procesos de deforestación; adicionalmente, al contar con pastos y forrajes de mejor calidad nutricional (hojas de árboles y praderas más exuberantes) se reducen significativamente las emisiones de metano a la atmósfera debido a un proceso fermentativo más eficiente a nivel ruminal (Barahona y Sánchez, 2005) e indirectamente, por la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados, pesticidas y otros insumos (Murgueitio *et al.*, 2011).

Además, los SSPi permiten disminuir las emisiones ya que promueven una mejor productividad por animal, lo que mejora el balance entre superficie

utilizada y Kg de CO<sub>2</sub> eq; mayor productividad, lo que redundaría en menores emisiones por unidad de producto y una mayor eficiencia a lo largo de la cadena productiva en términos de CO<sub>2</sub>.

Tal vez uno de los atributos que llaman más la atención de los SSPi es que incrementan la productividad ganadera a través de la oferta de biomasa forrajera que a su vez incrementa la carga animal y la producción de carne y/o leche, pero además se convierte en sumidero de CO<sub>2</sub> al mismo tiempo que reduce las emisiones de metano por unidad de producto, de tal manera que el balance de GEI es positivo. La tabla 1 muestra la comparación respecto a la producción de carne y emisiones de metano entre tres sistemas de producción ganadera tropical en Colombia, el pastoreo extensivo con pastos y suelos en proceso de degradación que sigue siendo la mayor área ocupada por ganadería, los pastos mejorados sin árboles y el SSPi.

El SSPi produce 12 veces más carne que el pastoreo extensivo y 4.5 veces más que los pastos mejorados sin árboles pero las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) no se incrementan en igual proporción siendo 6.8 y 2.8 veces mayores en el SSPi respectivamente, razón por la cual las emisiones del mismo gas por tonelada de carne es 1.8 veces menor en el SSPi que en el pastoreo extensivo.

Pero la mitigación de CC va más allá de la reducción general y por unidad de producto del metano. El análisis se hace como balance de GEI lo que incluye aspectos positivos de captura de carbono en el suelo y la biomasa aérea o reducción en las emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Para facilitar las comparaciones, los cálculos se realizan como tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (ton CO<sub>2</sub> eq). La tabla 2 muestra los resultados de la comparación de los mismos tres sistemas de producción ganadera tropical antes mencionados pero ya calculándolos en escenarios para la producción de diez mil toneladas de carne.

Para producir diez mil toneladas de carne se requieren casi ciento cincuenta mil hectáreas de tierra en pastoreo extensivo, que además tienen un balance negativo de emisiones de CO<sub>2</sub> eq (más de 48.000), lo que refleja la enorme ineficiencia productiva y los problemas ambientales de este uso de la tierra. Por el contrario si la misma cantidad de carne se produce con SSPi se requieren tan solo algo más de doce mil hectáreas que además dan un balance de GEI positivo en más de tres mil toneladas reducidas de CO<sub>2</sub> eq. Cuando se calcula la misma producción de carne con pastos mejorados sin árboles (sin fertilizantes) el área requerida es más de cuatro veces la que se emplearía con SSPi y además el balance de GEI es negativo en más de cinco mil toneladas de CO<sub>2</sub> eq.

Tabla 1. Parámetros de producción de carne y emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) en tres sistemas de producción ganadera tropical en Colombia.

PARAMETRO	Pastoreo convencional <sup>1</sup> extensivo	Pastos mejorados <sup>1</sup> sin árboles	SSPi - Sistema silvopastoril intensivo <sup>2</sup>
Carga UA/ha	0.5	1	3
Ganancia diaria/animal (Kg)	0.37	0.5	0.75
Ganancia diaria/ha	0.185	0.5	2.25
Días de ceba (de 250 a 440 Kg)	514	380	253
Emisión promedio de CH <sub>4</sub> /año/ha (kg) <sup>3</sup>	15.5	38	105
Kg de carne por ha/año (PV)	67.5	182.5	821.3
Emisión de CH <sub>4</sub> por ton de carne producida	229.5	208.2	127.9
Hectáreas necesarias por ton de carne/año	14.8	5.5	1.2

<sup>1</sup>. FEDEGAN-FNG - CIPAV 2010.

<sup>2</sup>. Murgueitio M *et al.*, 2011.

<sup>3</sup>. Thorton and Herrero 2010.

## CONTRIBUCIONES DE LOS SSPi A LA ADAPTACIÓN GANADERA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las áreas tropicales y subtropicales se consideran en situación creciente de vulnerabilidad por la exacerbación de situaciones climáticas extremas a raíz del CC. Se está sufriendo y se predicen oscilaciones más acentuadas y frecuentes de temporadas secas o excesivamente lluviosas. En las cuencas del Caribe y el Pacífico los huracanes y las tormentas tropicales tienden a presentarse con mayor violencia afectando América Central, las islas del Caribe y las costas de sur América y México. En las regiones de América del Norte y el cono Sur los frentes fríos generan heladas de gran magnitud, algo similar está sucediendo en los altiplanos y zonas de alta montaña en los Andes.

Las precipitaciones por encima de los promedios normales provocan deslizamientos en las laderas e inundaciones en las áreas bajas. En la sequía las elevadas temperaturas muchas veces con vientos desecantes afectan las áreas ganaderas. En ambos casos la oferta de forraje se minimiza incrementándose el sobrepastoreo, la compactación y degradación de los suelos (Rueda *et al.*, 2010).

Además de lo anterior, hay evidencias de la ampliación de la distribución de algunas plagas de cultivos y animales domésticos así como la aparición

de nuevos enemigos de los mismos (Giraldo y Murgueitio, 2010).

Los escenarios que se presentan como consecuencia del cambio climático fortalecen la importancia de los sistemas de producción agrícola sostenibles. Cuanto más estable es un ecosistema agrícola, mejor hace frente a los factores de estrés adicionales inducidos por el cambio climático (Jarvis *et al.*, 2010).

La adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático requiere:

- Planificar el uso de la tierra por sitio.
- Proteger, almacenar y usar en forma eficiente el agua.
- Multiplicar las prácticas de conservación de suelos.
- Incrementar la cobertura vegetal de árboles, arbustos y arvenses.
- Establecer sistemas agroforestales y silvopastoriles.
- Emplear variedades y razas locales adaptadas.
- Promover las prácticas agroecológicas como la reducción de los insumos agroquímicos y el consumo de petróleo.
- Erradicar las prácticas insostenibles como el fuego y la deforestación. (Murgueitio y *et al.*, 2009).

Tabla 2. Emisiones de GEI para tres escenarios según el sistema de producción ganadera tropical en Colombia.

PARAMETRO	Pastore oconvencional <sup>1</sup> sin árboles	Pastos mejorados <sup>1</sup> sin árboles	SSPi - Sistema silvopastoril intensivo <sup>2</sup>
Kg de carne por ha/año (PV)	67.5	182.5	821.3
Hectáreas necesarias para 10 mil ton de carne	148.093	54.795	12.177
Emisión de metano (ton de CO <sub>2</sub> eq)	48.204	43.726	26.849
Captura de C en el suelo (ton CO <sub>2</sub> eq)	0	38.356	11.896 <sup>4</sup>
Captura de C (ton CO <sub>2</sub> eq) en componente arbóreo y arbustivo <sup>4</sup>	0	0	18.265
Balance GEI ton	-48204	-5370	3312

<sup>1</sup>. FEDEGAN-FNG - CIPAV 2010.

<sup>2</sup>. Murgueitio M *et al.*, 2011.

<sup>3</sup>. Thorton and Herrero 2010

<sup>4</sup> Arias *et al.*, 2009.

La intensificación, entendida como un incremento en la productividad tanto de la producción pecuaria como de los cultivos forrajeros, puede reducir las emisiones de GEI provenientes de la deforestación y la degradación de los pastizales.

Los Sistemas Silvopastoriles intensivos -SSPi con alta densidad de árboles, arbustos y pasturas mejoradas favorecen la adaptación al CC porque mantienen la humedad del suelo, reducen las altas temperaturas ambientales en los potreros mejorando también la productividad y calidad de los forrajes, además de reducir la estacionalidad de la producción de carne y leche.

El uso de árboles de raíces profundas, reduce la vulnerabilidad de los productores frente a altas temperaturas, puesto que estas especies son más tolerantes a la sequía, con lo cual se logra una producción de forraje mucho más estable durante las épocas secas. De igual forma, al actuar como barreras rompe vientos y proveer sombra, los árboles ayudan a mejorar los parámetros microclimáticos del suelo, pues incrementan la capacidad de retención de agua y la aireación, y disminuyen la temperatura.

Como consecuencia de la actividad biológica, la mayor porosidad por la que circulan el agua y aire así como la materia orgánica, los suelos mejoran la capacidad de retención del agua, algo fundamental en las cuencas hidrográficas.

Existe evidencia que los SSPi pueden mitigar los efectos de periodos climáticos adversos, generando condiciones más adecuadas para la supervivencia y el desarrollo vegetal porque disminuyen las condiciones de estrés hídrico. En condiciones de la región del

Caribe seco de Colombia, los SSPi reducen la temperatura promedio anual (2 a 3 °C) y en los días más calientes las diferencias llegan a ser hasta de 13°C; incrementan la humedad relativa en las regiones secas (entre 10 y 20%), reducen la evapotranspiración (1.8 mm/día), convirtiéndose en modelos de producción sostenible para estas regiones donde los parámetros de producción son bajos (Rueda *et al.*, 2011).

## CONCLUSIONES

Los SSPi aportan a la mitigación de la ganadería tropical al CC al ser capaces de producir más carne o leche en menor superficie, producir con menos emisiones de metano por tonelada de producto y tener un balance positivo de GEI.

Los SSPi favorece la adaptación de la ganadería tropical al CC al reducir la temperatura, reducir la evapotranspiración, mejorar la humedad y actividad del suelo así como generar más biomasa forrajera en las épocas de estrés climático.

## REFERENCIAS

- Arias-Giraldo, L.M.; Camargo, J.C.; Dossman, M.A.; Echeverry, M.A.; Rodriguez, J.A.; Molina, C.H.; Molina, E.J; Melo, I.D. 2009. Estimación de biomasa aérea y desarrollo de modelos alométricos para *Leucaena leucocephala* en sistemas silvopastoriles de alta densidad en el Valle del Cauca, Colombia. Recursos Naturales y Ambiente/no. 58: 32-39.
- Barahona, R.; Sánchez, S. 2005 Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos

- tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista Corpoica* 6 (1): 69-82.
- CAWMA, 2007. *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute. 624 p.
- Chará, J. D.; Murgueitio, E.; Zuluaga, A.; Giraldo, C. 2011. *Ganadería Colombiana Sostenible. Mainstreaming Biodiversity in Sustainable Cattle Ranching*. Fundación CIPAV. 158p.
- Chará, J.; Giraldo, C. 2011. *2011. Servicios Ambientales de la Biodiversidad en Paisajes Agropecuarios*. Fundación CIPAV, Cali. 76 p.
- FEDEGAN-FNG – CIPAV, 2010 *Informe del Proyecto: Evaluación Técnica, Económica-Financiera y Ambiental de Sistemas Silvopastoriles Intensivos con *Leucaena leucocephala* y pastos mejorados, en el valle del río Cesar*. CIPAV, Cali, Colombia. Sin publicar.
- Giraldo, C.; Escobar, F.; Chará, J.; Calle, Z. 2011 *The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes*. *Insect Conservation and Diversity* 4:115-122.
- Giraldo, C.; Murgueitio, E. 2010. *Escarabajos estercoleros: los cinceles y rastrillos naturales de las tierras ganaderas*. *Revista Carta Fedegan*, 116, 76-78.
- IDEAM, 2010. *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, República de Colombia*. IDEAM, Bogotá.
- IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K (eds). The Intergovernmental Panel on Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan. 595p.
- Jarvis, A.; Touval, J. L.; Castro, M.; Sotomayor, L.; Graham, G. 2010 *Assessment of threats to ecosystems in South America*. *Journal for Nature Conservation* 18:180–188.
- Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; Whitman, C. 1995. *World soils and greenhouse effect: An overview*. En: *Soils and global change. Advances in Soil Science series*. Lewis Pubs. Estados Unidos
- Moreno, F.H; Lara, W. 2003. *Variación del carbono orgánico del suelo en bosques primarios intervenidos y secundarios*. En: S.A. Orrego; J.I. Del Valle; F.H. Moreno (Eds.). *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia: contribuciones para la mitigación del cambio climático*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Departamento de Ciencias Forestales. Centro Andino para la Economía en el Medio Ambiente. Bogotá D.C., Colombia.
- Murgueitio, E.; Naranjo, J.; Cuartas, C.; Molina, C.; Lalinde, F. 2009. *Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) una herramienta de desarrollo rural sustentable con adaptación al cambio climático en regiones tropicales de América*. *Memorias II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos, en camino hacia núcleos de ganadería y bosques*. Noviembre 3, 4 y 5. Morelia y Tepalcatpec, México. Fundación Produce Michoacán, Universidad Autónoma de Yucatán - UADY.
- Murgueitio, E.; Calle, Z.; Uribe, F.; Calle, A.; Solorio, B. 2011. *Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands*. *Forest Ecology and Management*; 261: 1654-1663.
- Nakicenovic, N.; Alcamo, J.; Davis, G.; de Vries, B.; Fenhann, J.; Gaffin, S.; Gregory, K.; Grübler, A.; Jung, T.; Kram, T.; Lebre la Rovere, E.; Michaelis, L.; Mori, S.; Morita, T.; Pepper, W.; Pitcher, H.; Price, L.; Riahi, K.; Roehrl, A.; Rogner, H.; Sankovski, A.; Schlesinger, M.; Shukla, P.; Smith, S.; Swart, R.; van Rooijen, S.; Victor, N.; Dadi, Z. 2000. *Emissions Scenarios: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge. 509 pp. <[http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index .htm](http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm)>
- Nardone, A.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M.S.; Bernabucci, U. 2010 *Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems*. *Livestock Science* 130:57–69.
- Rosegrant, M.; Cai, X.; Cline S. 2002. *Global Water Outlook to 2025, Averting an Impending Crisis. A 2020 Vision for Food, Agriculture, and the Environment Initiative*. International

- Food Policy Research Institute/International Water Management Institute, Washington DC, USA/Colombo, Sri Lanka
- 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 2009-2010 (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
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; de Haan, C. 2009 La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y soluciones. LEAD – FAO. Viale delle Terme di Caracalla 00153 Roma, Italia. 464 p. ISBN 978-92-5-305571-5.
- Thornton, P.; Herrero, M. 2011. Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. PNAS 107: 19667-19672.

*Submitted May 01, 2012 – Accepted September 08, 2014*