

Development of sustainable cattle rearing in silvopastoral systems in Latin America¹

Avances en Ganadería Sostenible con Sistemas silvopastoriles en América Latina¹

Murgueitio, Enrique¹, Chará, Julián¹, Barahona, Rolando² and Rivera, Julián E.¹

¹Fundación CIPAV, Colombia

²Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Email: enrique@fun.cipav.org.co

Introduction

Tropical and subtropical regions of Latin America, due to their wide territorial extension with lower human population density than Asia and with an accelerated concentration of their inhabitants in the cities, enjoy less limiting agroclimatic conditions than a great part of Africa and Australia in such a way that they are called upon to supply a growing portion of the world demand for bovine, ovine, caprine and buffalo meat, and possibly also for bovine milk. It is predicted that this demand will continue to rise in the next decade (Steinfeld *et al.* 2006). Forage production, naturally and economically performed, is the basis of the feeding of these domestic herbivores. An essential condition for this potential to be achieved one day is that small, medium and large scale producers strictly apply the agroecological principles in soil management, water care, and sustainable production of forage biomass and biodiversity conservation (Calle *et al.* 2013). But, in addition, it is mandatory to guarantee the welfare of animals (Broom *et al.* 2013), and that production systems reduce greenhouse gas emissions, while being more resilient to climate change effects (Montagnini *et al.* 2013, Gerber *et al.* 2013 and Chará *et al.* 2017).

Productive and sustainable silvopastoral cattle rearing

The silvopastoral systems (SPS) are one of the most innovative solutions to meet the livestock challenge of sustainable production. They are a varied group of spontaneous or deliberate arrangements in which perennial woody plants (trees or shrubs), herbaceous or twining plants (grasses, herbaceous legumes and weeds) and domestic animals interact simultaneously (Murgueitio *et al.* 2015). SPSs that can cover larger areas in less time and with lower labor and capital investment are trees, shrubs and palms scattered in grazing areas, almost always by natural regeneration and with the participation of a large number of propagated species with the help of cattle and wildlife.

Introducción

Las regiones tropicales y subtropicales de América Latina, por su amplia extensión territorial con densidad de población humana menor que Asia y con una concentración acelerada de sus habitantes en las ciudades, gozan de condiciones agroclimáticas menos limitantes que buena parte de África y Australia de tal manera que están llamadas a abastecer una porción cada vez mayor de la demanda mundial de carne bovina, ovina, caprina y bufalina, y posiblemente también de leche bovina. Se predice que esta demanda seguirá en ascenso en la próxima década (Steinfeld *et al.* 2006). La producción forrajes realizada en forma natural y económica es la base de la alimentación de estos herbívoros domésticos. Una condición esencial para que este potencial sea alcanzado algún día, es que los productores de mediana, pequeña y gran escala apliquen estrictamente los principios agroecológicos en el manejo del suelo, el cuidado del agua, la producción sostenible de la biomasa forrajera y la conservación de la biodiversidad (Calle *et al.* 2013). Pero, además, es obligatorio garantizar el bienestar de los animales (Broom *et al.* 2013), y que los sistemas productivos reduzcan las emisiones de gases con efecto de invernadero, al tiempo que sean más resilientes a los efectos del cambio climático (Montagnini *et al.* 2013, Gerber *et al.* 2013 y Chará *et al.* 2017).

Ganadería silvopastoril productiva y sustentable

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una de las soluciones más innovadoras para dar respuesta al reto ganadero de producción sustentable. Son un conjunto variados de arreglos espontáneos o deliberados en los que interactúan en forma simultánea plantas leñosas perennes (árboles o arbustos), plantas herbáceas o volubles (pastos, leguminosas herbáceas y arvenses) y animales domésticos (Murgueitio *et al.* 2015). Los SSP que pueden cubrir superficies mayores en menor tiempo y con más baja inversión de trabajo y capital, son los árboles, arbustos y palmas dispersos en zonas de pastoreo, casi siempre por regeneración natural y donde participan un número importante de especies propagadas con la ayuda del mismo ganado y de la fauna silvestre. El cambio cultural

¹Lecture presented at VI Congreso de Producción Animal Tropical, Havana, Cuba

The cultural change of producers and technicians is essential for them to avoid extreme practices of woody vegetation removal with the use of fire, herbicides and mechanical destruction (Calle *et al.* 2017 and Murgueitio *et al.* 2011). On the other hand, in the last forty years, thanks to research and work of farmers, technicians and pioneer entrepreneurs, other silvopastoral models have been developed in different areas of the continent, with more deliberate objectives of increasing productivity of timber trees and associating animals to forest plantations (also in some fruit tree crops) or maximizing forage productivity for greater animal production and stocking rate in the form of forage mixed banks for cutting and carrying or for direct browsing and grazing. The latter are called intensive silvopastoral systems (SPSi), a land use where one or more species in different strata or levels interact in the same space and time. In the lowest (herbaceous stratum), there are forage grasses native from America or introduced, as well as herbaceous legume and other woody herbaceous plants. In the second level or middle layer of vegetation, there are forage shrubs such as *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., of Mimosoidae subfamily; *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, of Asteraceae family; or *Guazuma ulmifolia* Lam., of Malvaceae family, in high density (between 10 and up to more than 40 thousand plants ha⁻¹) destined for cattle browsing. The third stratum (even a fourth is possible) is formed by native or introduced trees and palms for all kinds of uses, especially shade for cattle, fruit offerings, wood and firewood production, which are in dispersed form or in planting lines with a density ranging from 25 to 200 adult trees ha⁻¹ (it varies according to species). In the SPsi, the permanent supply of good quality water for animal intake must be guaranteed in mobile drinkers and balanced mineralized salt (Murgueitio *et al.* 2015). As a result of all the above, it is possible to increase the stocking rate up to four or more times in front of extensive grazing, favoring a greater meat animal production when passing from 160 kg year⁻¹ to 800 or 1,500 kg year or even more (Solorio-Sánchez *et al.* 2011). In turn, the implementation of SPsi allows reducing costs compared to intensive grazing systems, by reducing the use of nitrogen fertilizers from 300 ha⁻¹ year⁻¹ or more, up to zero (Rivera *et al.* 2017). Experiences of producers in the tropics of Mexico show that a genetic component that includes crossbreeding with animals *Bos taurus* x *Bos indicus* (50 % or a little more) in the SPsi of leucaena - selected pastures, allows an additional production of meat between 15 and 20 % (Murgueitio 2017). The SPsi also stand out for reducing reproduction seasonality because the cattle have better food in times of critical drought, offer better quantity and balance of essential nutrients (protein, energy, minerals and vitamins) and because they suffer less heat stress with

de los productores y técnicos es esencial para que eviten las prácticas extremas de eliminar la vegetación leñosa con el uso del fuego, los herbicidas y la destrucción mecánica (Calle *et al.* 2017 y Murgueitio *et al.* 2011). Por otra parte, en los últimos cuarenta años, gracias a la investigación y el trabajo de campesinos, técnicos y empresarios pioneros, en diferentes zonas del continente se han desarrollado otros modelos silvopastoriles con objetivos más deliberados de incrementar la productividad de los árboles maderables y asociando los animales a plantaciones forestales (también en algunos cultivos de árboles frutales) o maximizando la productividad forrajera para mayor carga y producción animal en forma de bancos mixtos de forraje para corte y acarreo o para pastoreo y ramoneo directo. Estos últimos se denominan sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), un uso de la tierra donde interactúan en el mismo espacio y tiempo una o más especies en diferentes estratos o niveles. En el más bajo (estrato herbáceo) se encuentran gramíneas forrajeras nativas de América o introducidas, así como plantas leguminosas herbáceas y otras herbáceas leñosas. En el segundo nivel o estrato medio de vegetación, están los arbustos forrajeros como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit., de la subfamilia Mimosoidae; *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, de la familia Asteraceae; o *Guazuma ulmifolia* Lam., de la familia Malvaceae, en alta densidad (entre 10 y hasta más de 40 mil plantas ha⁻¹) destinados al ramoneo del ganado. El tercer estrato (incluso un cuarto es posible) está conformado por árboles nativos o introducidos y palmas para todo tipo de uso, especialmente sombrero del ganado, oferta de frutos, producción de madera y leña; que están en forma dispersa o en líneas de siembra con una densidad que va de 25 hasta 200 árboles adultos ha⁻¹ (varía según las especies). En el SSPi se debe garantizar la oferta permanente de agua de buena calidad para el consumo animal en bebederos móviles y de sal mineralizada balanceada (Murgueitio *et al.* 2015). Como resultado de todo lo anterior, es posible aumentar la carga animal hasta cuatro veces frente al pastoreo extensivo, favoreciendo una mayor producción animal de carne al pasar de 160 kg año⁻¹ a 800 o 1500 kg año⁻¹ o incluso más (Solorio-Sánchez *et al.* 2011). A su vez, la implementación de SSPi permite reducir los costos comparados con sistemas intensivos de pastoreo, al reducir el uso de fertilizantes nitrogenados desde 300 ha⁻¹ año⁻¹ o más hasta cero (Rivera *et al.* 2017). Experiencias de productores en el trópico de México demuestran que un componente genético que incluya cruces con animales *Bos taurus* x *Bos indicus* (50 % o un poco más) en los SSPi de leucaena - pastos seleccionados, permite una producción adicional de carne entre 15 a 20 % (Murgueitio 2017). También los SSPi se destacan por reducir la estacionalidad de la reproducción porque el ganado tiene mejor alimentación en épocas críticas de sequía, ofertan mejor cantidad y balance de nutrientes esenciales (proteína, energía, minerales y vitaminas) y porque sufre menos estrés calórico con reducción entre 6 - 14 grados Celsius en la

reduction between 6 and 14 degrees Celsius in the annual average temperature of their surroundings. In all SPSs, biodiversity benefits compared to treeless systems (Murgueitio *et al.* 2011 and Harvey *et al.* 2013). Thus, by increasing livestock production in smaller spaces, connectivity of forest fragments is also increased through corridors of native vegetation, such as gallery forests along rivers and smaller water courses. In this way, livestock intensification based on natural processes can also play a strategic role in the rehabilitation of degraded ecosystems and provision of environmental services derived from biodiversity and the hydrological cycle (Chará *et al.* 2015 and Calle *et al.* 2017).

Silvopastoral cattle rearing may mitigate climate change

Global climate changes, as a consequence of human activities, especially the use of fossil fuels, urbanization and exaggerated patterns of consumption, are processes that occur more rapidly and exceed the capacity of governments and societies to carry out profound changes that are needed. Therefore, extreme expressions of climate are increasingly worrisome in the world and are more often manifested as severe droughts, devastating hurricanes, torrential rains with floods and landslides, cold fronts and rising sea levels (SOCLA 2014).

The International Convention of the United Nations on Climate Change (UNFCCC) clearly defines the importance of mitigation and adaptation of states and all sectors of world society to climate change.

For mitigation, it is essential to reduce greenhouse gas (GHG) emissions, which include carbon dioxide (CO₂), nitrogen dioxide (N₂O) and methane (CH₄) (Gerber *et al.* 2013).

Advances in research with SPS and SPSi on mitigation begin to be published with data from the region (Ibrahim *et al.* 2010 and Harvey *et al.* 2013). Thus, in several experiments, it is concluded that models with *Leucaena leucocephala* and improved grasses have the ability of reducing GHG emissions in bovine systems (Solorio-Sánchez *et al.* 2011). These determinations include CH₄ production by *in vivo* (Molina *et al.* 2015a and Molina *et al.* 2016) and *in vitro* (Huang *et al.* 2011, Molina *et al.* 2013 and Rivera *et al.* 2015) enteric fermentation. Determination of carbon footprint and GHG balance (Naranjo *et al.* 2012, Harrison *et al.* 2015 and Rivera *et al.* 2016) and the measurement of gas flows from grasses and bovine excretions.

Regarding enteric emissions of CH₄, Molina *et al.* (2016), with diets based on African star grass *Cynodon plectostachyus* with an inclusion of approximately 25 % of *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, offered to heifers of the Colombian breed Lucerna (*Bos taurus*), found that these emissions can decrease to 15 % per kg

temperatura promedio anual de su entorno. En todos los SSP se beneficia la biodiversidad en comparación con los sistemas sin árboles (Murgueitio *et al.* 2011 y Harvey *et al.* 2013). Así, al incrementar la producción pecuaria en espacios menores, al mismo tiempo se incrementa la conectividad de los fragmentos de bosques a través de corredores de vegetación nativa, como bosques de galería a lo largo de los ríos y cursos de agua menores. De esta manera la intensificación ganadera sustentada en procesos naturales puede también jugar un papel estratégico en la rehabilitación de los ecosistemas degradados y la provisión de servicios ambientales derivados de la biodiversidad y el ciclo hidrológico (Chará *et al.* 2015 y Calle *et al.* 2017).

La ganadería silvopastoril puede mitigar el cambio climático

Los cambios climáticos globales como consecuencia de las actividades humanas, especialmente el uso de los combustibles fósiles, la urbanización y los patrones exagerados de consumo, son procesos que se presentan en forma más acelerada y superan la capacidad de los gobiernos y las sociedades para realizar los cambios profundos que se necesitan. Por lo tanto, las expresiones extremas del clima son cada vez más preocupantes en el mundo y se manifiestan con más frecuencia en forma de fuertes sequías, huracanes devastadores, lluvias torrenciales con inundaciones y deslizamientos, frentes helados e incremento en los niveles del mar (SOCLA 2014).

La Convención Internacional Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) define con claridad la importancia de la mitigación y la adaptación de los estados y todos los sectores de la sociedad mundial al cambio climático.

Para la mitigación es esencial reducir las emisiones de gases con efecto de invernadero (GEI) donde se destacan el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de nitrógeno (N₂O) y el metano (CH₄) (Gerber *et al.* 2013).

Los avances en investigación con SSP y SSPi sobre mitigación empiezan a publicarse con datos de la región (Ibrahim *et al.* 2010 y Harvey *et al.* 2013). Así, en varios experimentos se concluye que existe capacidad de los modelos con *Leucaena leucocephala* y pastos mejorados para reducir las emisiones de GEI en sistemas bovinos (Solorio-Sánchez *et al.* 2011). Estas determinaciones incluyen la producción de CH₄ por fermentación entérica tanto *in vivo* (Molina *et al.* 2015a y Molina *et al.* 2016) como *in vitro* (Huang *et al.* 2011, Molina *et al.* 2013 y Rivera *et al.* 2015); determinación de la huella de carbono y el balance de GEI (Naranjo *et al.* 2012, Harrison *et al.* 2015 y Rivera *et al.* 2016) y la medición de los flujos de gases provenientes de praderas y excreciones bovinas.

En lo referente a las emisiones entéricas de CH₄, Molina *et al.* (2016) encontraron que con dietas basadas en pasto estrella africana *Cynodon plectostachyus* con una inclusión de aproximadamente 25 % de *Leucaena*

of consumed dry matter (CDM), from 43.6 to 37.7 L of CH₄/kg of CDM. In addition, there was less energy loss due to CH₄ production in the diets with shrub species. Molina *et al.* (2015a) found similar results when evaluating enteric methane emissions in response to a 24 % inclusion of *Leucaena leucocephala* in diets based on *Cynodon plectostachyus* and *Megathyrsus maximus*. In both evaluations, although the animals in the systems with leucaena consumed from 15 to 20 % more DM, total emissions per animal only increased by 3 % on average without significant differences. These results are due to the fact that, with the inclusion of leucaena, total NDF levels decrease and this reduces methane emissions (Archimède *et al.* 2011). Another aspect that affects CH₄ emissions when leucaena is offered to animals, is the presence of condensed tannins (Barahona *et al.* 2014). These components possibly inhibit growth of Archaea in the rumen and their effect depends on the chemical structure and its quantity (Archimède *et al.* 2011 and Huang *et al.* 2011).

On the other hand, the inclusion of *Leucaena leucocephala* results in a lower carbon footprint of meat and milk produced in SPSi. Rivera *et al.* (2016) reported that an SPSi with leucaena was reduced in 12 % the kg of CO₂ - eq emitted in the production of one kg of milk corrected for fat and protein (MCFP) in relation to an intensive system based on star grass, irrigation, supply of concentrated foods and fertilization under tropical conditions (2.05 vs. 2.34 kg of CO₂-eq, respectively). In turn, in the system with leucaena, the GHG emissions associated with the production of one kg of fat and protein were reduced in 19 and 23 % (42.3 vs. 54.9 CO₂-eq/kg and 47.3 vs. 58.3 CO₂-eq/kg, respectively). Rivera *et al.* (2016) concluded that systems based on *Leucaena leucocephala* reduce the intensity of emissions thanks to its high productivity, diet quality, low dependence on external inputs (fertilizers and concentrated feed) and high stocking rate. In the same way, Naranjo *et al.* (2012) estimated that, under conditions of high shrub density and presence of trees in grazing areas, the balance between emissions and removals can be negative, thanks to the fact that, in SPSi, between 17 and 32 of CO₂/ha/year can be captured and emitted about 12 of CO₂/ha/year.

Regarding emissions in meadows with the presence of leucaena, Harrison *et al.* (2015) found that these gas flows may be lower than conventional systems with similar supply of N in the diet. Under tropical dry forest conditions, Rivera *et al.* (2015) found lower losses of N deposited in bovine manure and urine in the form of N₂O in an intensive SPSi than in a conventional system (p = 0.002). Thus, in the SPSi, only 1.37% of the excreted N was emitted via manure compared to 1.77 % emitted in the conventional system, while, in the case of urine, the emissions were 3.47 vs. 0.3 % for the conventional system and SPSi, respectively. When observing grassland flows, Rivera

leucocephala cv. Cunningham, ofrecidas a novillas de la raza colombiana Lucerna (*Bos taurus*), estas emisiones pueden disminuir en 15 % por kg de materia seca consumida (MSC) al pasar de 43.6 a 37.7 L de CH₄/kg de MSC. Además, hubo menor pérdida de energía por producción de CH₄ en las dietas con la especie arbustiva. Molina *et al.* (2015a) encontraron resultados similares al evaluar las emisiones entéricas de metano en respuesta a una inclusión de 24% de *Leucaena leucocephala* en dietas basadas en *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*. En ambas evaluaciones, a pesar de que los animales en los sistemas con leucaena consumieron 15 a 20 % más MS, las emisiones totales por animal sólo se incrementaron en 3 % en promedio sin existir diferencias significativas. Estos resultados se deben a que con la inclusión de leucaena, disminuyen los tenores totales de FDN y esto reduce las emisiones de metano (Archimède *et al.* 2011). Otro aspecto que afecta las emisiones de CH₄ cuando se ofrece leucaena, es la presencia de taninos condensados (Barahona *et al.* 2014). Estos componentes inhiben posiblemente el crecimiento de Archaea en el rumen y su efecto depende de la estructura química y de su cantidad (Archimède *et al.* 2011 y Huang *et al.* 2011).

Por otra parte, la inclusión de *Leucaena leucocephala*, resulta en una menor huella de carbono de la carne y leche producidos en SSPi. Rivera *et al.* (2016) reportaron que un SSPi con leucaena se disminuyó en 12 % los kg de CO₂ - eq emitidos en la producción de un kg de leche corregida por grasa y proteína (LCGP) en relación con un sistema intensivo basado en pasto estrella, riego, oferta de alimentos concentrados y fertilización en condiciones tropicales (2.05 vs 2.34 kg de CO₂-eq, respectivamente). A su vez, en el sistema con leucaena se disminuyeron en 19 y 23 % las emisiones de GEI asociadas con la producción de un kg de grasa y proteína (42.3 vs 54.9 CO₂-eq/kg y 47.3 vs 58.3 CO₂-eq/kg, respectivamente). Rivera *et al.* (2016) concluyeron que en sistemas basados en *Leucaena leucocephala* se reduce la intensidad de emisiones gracias a su alta productividad, calidad de la dieta, baja dependencia de insumos externos (fertilizantes y alimentos concentrados) y alta carga animal. De la misma manera, Naranjo *et al.* (2012) estimaron que, en condiciones de alta densidad arbustiva y presencia de árboles en las zonas de pastoreo, el balance entre emisiones y remociones puede llegar a ser negativo, gracias a que en SSPi se pueden capturar entre 17 y 32 t de CO₂/ha/año y emitir cerca de 12 t de CO₂/ha/año.

En cuanto a emisiones en praderas con presencia de leucaena, Harrison *et al.* (2015) encontraron que estos flujos de gases pueden ser inferiores a sistemas convencionales con similar oferta de N en la dieta. En condiciones de bosque seco tropical, Rivera *et al.* (2015) encontraron menores pérdidas de N depositado en estiércol y orina por bovinos en forma de N₂O en un SSPi intensivo que en un sistema convencional (p=0.002). Así, en el SSPi solo se emitió el 1.37 % del N excretado vía estiércol frente al

et al. (2015) found that the emissions of a system with leucaena are similar to those measured in a forest ($p > 0.05$) and much lower than those of a system of grasses in single crop with irrigation and fertilization ($p = 0.001$). In the results of Rivera *et al.* (2015), the high fertilization intensity of the conventional system (420 kg of N_2 /ha/year) and irrigation, undoubtedly favored the conditions for increasing denitrification processes and, as a consequence, the net emissions of N_2O towards the atmosphere.

The reduction of methane emissions with *Tithonia diversifolia* is also researched since this species also has low fiber levels. Molina *et al.* (2015b) and Donney's *et al.* (2015) evaluated the effect of inclusion of foliage of this shrub on methane production in conventional grass diets. Although there were no differences in the daily emissions of CH_4 ($p = 0.351$), the emissions per kg of weight gain were reduced from 22.3 kg of CO_2 -eq kg^{-1} in a diet based on brachiaria or bitter grass *Urochloa decumbens* to 4.89 kg of CO_2 -eq kg^{-1} when *Tithonia diversifolia* ($p = 0.002$) was included (Molina *et al.* 2015b). On the other hand, Donney's *et al.* (2015) found that the inclusion of 20 to 25 % of the same shrub in the diet reduced in 10 % the *in vitro* production of CH_4 per kg of degraded matter in diets based on kikuyo grass *Cenchrus clandestinus* and up to 15 % in brachiaria or bitter grass-based diets.

Public policy actions for mitigation with silvopastoral systems

To achieve remarkable effects in reducing GHG emissions, large-scale actions are required with the strong support of the state. For this reason, research, such as the ones mentioned above, should be used quickly in the design of public policies (Gerber *et al.* 2013 and Acosta *et al.* 2014). In Colombia, recently, a viability analysis was carried out to replace grasslands degraded by silvopastoral systems, as well as improved management, as proposed in the profile of Nationally Appropriate Mitigation Actions better known as NAMA. For the actions selected in the NAMA of Sustainable Livestock, it was demonstrated that the country has a reasonable potential to increase domestic meat production in 25 % and milk in 30 %, while releasing six million hectares towards other uses such as ecological restoration, conservation of wild areas or agroforestry systems. Emissions (mainly methane and nitrous oxide) from the production process would decrease 23 % for each kilogram of protein. If productivity gains were used for avoiding deforestation of more land, and if farmers planted forests on two of the six million hectares of reduced grazing lands, mitigation of land use could prevent or compensate 1.4 billion tons of carbon dioxide in 15 years. This level of mitigation, which combines livestock improvement with forest protection, could achieve the goal of reducing emissions in Colombia by 2030 (MADS 2015

1.77 % emitido en el sistema convencional, mientras que, para el caso de la orina, las emisiones fueron 3.47 vs 0.3 % para el sistema convencional y SSPi, respectivamente. Al observar los flujos de las praderas, Rivera *et al.* (2015) encontró que las emisiones de un sistema con leucaena son similares a las medidas en un bosque ($p > 0.05$) y muy inferiores a las de un sistema de gramíneas en monocultivo con riego y fertilización ($p = 0.001$). En los resultados de Rivera *et al.* (2015), la alta intensidad de fertilización del sistema convencional (420 kg de N_2 /ha/año) y el riego, indudablemente favorecieron las condiciones para incrementar procesos de desnitrificación y como consecuencia, las emisiones netas de N_2O hacia la atmósfera.

También se investiga la reducción de las emisiones de metano con *Tithonia diversifolia* ya que esta especie también tiene bajos niveles de fibra. Molina *et al.* (2015b) y Donney's *et al.* (2015) evaluaron el efecto de la inclusión del follaje de este arbusto en la producción de metano en dietas de pasturas convencionales. Aunque no hubo diferencias en las emisiones diarias de CH_4 ($p = 0.351$), las emisiones por kg de ganancia de peso se redujeron de 22,3 kg de CO_2 -eq kg^{-1} en una dieta basada en pasto brachiaria o amargo *Urochloa decumbens* a 4,89 kg de CO_2 -eq kg^{-1} cuando se incluyó *Tithonia diversifolia* ($p = 0,002$) (Molina *et al.* 2015b). Por otro lado, Donney's *et al.* (2015) encontraron que la inclusión en la dieta de 20 a 25 % del mismo arbusto redujo en 10 % la producción *in vitro* de CH_4 por kg de materia degradada en dietas basadas en pasto kikuyo *Cenchrus clandestinus* y hasta 15 % en dietas basadas en pasto brachiaria o amargo.

Acciones de políticas públicas para la mitigación con sistemas silvopastoriles

Para lograr efectos destacables en la reducción de emisiones de GEI, se requieren acciones de amplia escala con el apoyo decidido del estado. Por eso se busca que las investigaciones como las arriba citadas, se usen en forma rápida en el diseño de políticas públicas (Gerber *et al.* 2013 y Acosta *et al.* 2014). En Colombia, recientemente, se realizó un análisis de la viabilidad para reemplazar pastizales degradados por sistemas silvopastoriles además de una gestión mejorada, como se propone en el perfil de Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas mejor conocido como NAMA. Para las acciones seleccionadas en la NAMA de Ganadería Sostenible, se demostró que el país tiene un potencial razonable para aumentar la producción nacional de carne en 25 % y la leche en 30%, mientras libera seis millones de hectáreas hacia otros usos como la restauración ecológica, la conservación de áreas silvestres o sistemas agroforestales. Las emisiones (principalmente metano y óxido nítrico) del proceso de producción disminuirían 23 % por cada kilogramo de proteína. Si se aprovecharan las ganancias de productividad para evitar la deforestación de más tierras, y si los agricultores plantaran bosques en dos de los seis millones de hectáreas de tierras de pastoreo reducidas, la mitigación del uso de la tierra

and Lerner *et al.* 2017).

Livestock can be a sustainable and mitigating activity of climate change if it is transformed into intelligent management of soil and water conservation, as well as being carried out in mixed grasslands with intense presence of trees and shrubs, capable of transforming solar energy into animal feed and these, in turn, have genotypes better adapted to the new climate and to infectious and parasitic diseases (Murgueitio 2017 and Chará *et al.* 2017).

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 53, Number 1, 2019.

podría evitar o compensar 1.400 millones de toneladas de dióxido de carbono en 15 años. Este nivel de mitigación, que combina la mejora del ganado con la protección de los bosques, podría lograr el objetivo de reducción de emisiones de Colombia para 2030 (MADS 2015 y Lerner *et al.* 2017).

La ganadería puede ser una actividad sostenible y mitigadora del cambio climático si se transforma hacia manejos inteligentes de conservación de suelos y aguas, así como se realice en praderas mixtas con intensa presencia de árboles y arbustos capaces de transformar la energía solar en alimentos para animales y estos a su vez tengan genotipos mejor adaptados al nuevo clima y a las enfermedades infecciosas y parasitarias (Murgueitio 2017 y Chará *et al.* 2017).

References

- Acosta, A., Murgueitio E., Solarte, A. & Zapata, C. 2014. Fomento de sistemas agrosilvopastoriles institucionalmente sostenibles. In: Acosta A, Díaz T (eds) Lineamientos de política para el desarrollo sostenible del sector ganadero. FAO, Roma, p. 88–103
- Archimède, H., Eugène, M., Marie, C., Boval, M., Martin, C., Morgavi, DP., Lecomte, M. & Doreau, M. 2011. Comparison of methane production between C₃ and C₄ grasses and legumes. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 166–167:59–64.
- Barahona, R., Sánchez, M. S., Murgueitio, E. & Chará, J. 2014. Contribución de la *Leucaena leucocephala* Lam (de Wit) a la oferta y digestibilidad de nutrientes y las emisiones de metano entérico en bovinos pastoreando en sistemas silvopastoriles intensivos. In: Premio Nacional de Ganadería José Raimundo Sojo Zambrano, modalidad Investigación Científica. Bogotá, Colombia. *Revista Carta Fedegán* 140:66–69.
- Broom, D. M., Galindo, F.M. & Murgueitio, E. 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proc. Roy. Soc. Biol. Sci.* 280:2013–2025.
- Calle, Z., Giraldo, AM., Cardozo, A., Galindo, A. & Murgueitio, E. 2017. Enhancing Biodiversity in Neotropical Silvopastoral Systems: Use of Indigenous Trees and Palms. In: Montagnini F. (Ed). *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*. Advances in Agroforestry 12. Springer, Dordrecht. ISBN: 978-3-319-69370-5.
- Calle, Z., Murgueitio, E., Chará J., Molina C. H., Zuluaga A. F. & Calle, A. 2013. A Strategy for Scaling-Up Intensive Silvopastoral Systems in Colombia, *Journal of Sustainable Forestry*, 32(7) 677–693. DOI: 10.1080/10549811.2013.817338
- Chará, J., Camargo, JC., Calle, Z., Bueno, L., Murgueitio, E., Arias, L., Dossman, M. & Molina, EJ. 2015. Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica. Pp. 331–347 In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (Eds.). *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie Técnica Informe Técnico 402, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.
- Chará, J., Camargo, JC., Calle, Z., Bueno, L., Murgueitio, E., Arias, L., Dossman, M. & Molina, EJ. 2015. Servicios ambientales de sistemas silvopastoriles intensivos: mejoramiento del suelo y restauración ecológica. Pp. 331–347 In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., Eibl, B. (Eds.). *Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. Serie Técnica Informe Técnico 402, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.
- Chará J., Rivera J. E., Barahona R., Murgueitio E., Deblitz C., Reyes E., Mauricio R., Molina J., Flores, M. & Zuluaga, A. F. 2017. Intensive silvopastoral systems: economics and contribution to climate change mitigation and public policies. In: Montagnini F. (Ed). *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty*. Advances in Agroforestry 12. Springer, Dordrecht. ISBN: 978-3-319-69370-5.
- Donney's, G., Molina, I. C., Rivera, J. E., Villegas, G., Chará, J. & Barahona, R. 2015. Producción *in vitro* de metano de dietas ofrecidas en sistemas silvopastoriles intensivos con *Tithonia diversifolia* y sistemas tradicionales. In: 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles y VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales INTA. Puerto Iguazú, Argentina, 7–9 mayo, pp 672–677.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería – Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación. FAO, Roma
- Harrison, M., McSweeney, C., Tomkins, NW. & Eckard, R. J. 2015. Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agric. Syst.* 136:138–146.
- Harvey, C., Chacón, M., Donatti, C., Garen, E., Hannah, L., Andrade, LA, Bede, L., Brown, D., Calle, A., Chará, JD, Clement, C., Gray, E., Hoang, M., Minang, P., Rodríguez, A., Seeberg-Elverfeldt, C., Semroc, B., Shames, S., Smukler, S., Somarriba, E., Torquebiau, E., van Etten, J., & Wollenberg, E. 2013. Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conserv Lett* 7:77–90.
- Huang, X. D., Liang, J. B., Tan, H. Y., Yahya, R., & Ho, W. 2011. Effects of *Leucaena* condensed tannins of differing molecular weights on *in vitro* CH₄ production. *Anim Feed Sci Technol* 166–167:373–376.
- Ibrahim, M., Guerra, L., Casasola, F. & Neely, N. 2010. Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits. In: Abberton, M., Conant, R. & Batello, C. (eds) *Grassland carbon sequestration: management, policy and economics*. In: Proceedings of the workshop on the role of grassland carbon sequestration in the

- mitigation of climate change. Integrated Crop Management, vol 11. FAO, Roma. Available: <http://www.fao.org/docrep/013/i1880e/i1880e09.pdf>.
- Lerner, A. M., Zuluaga, A. F., Chará, J., Etter, A. & Searchinger, T. 2017. Sustainable Cattle Ranching in Practice: Moving from Theory to Planning in Colombia's Livestock Sector. Environmental Management DOI 10.1007/s00267-017-0902.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) de Colombia. 2015. NINO Ganadería Bovina Sostenible. Densificación productiva, reconversión de pasturas y devolución a la naturaleza. Available: <http://www.minambiente.gov.co/>.
- Molina, I. C., Angarita, E., Mayorga, O. L., Chará, J. & Barahona, R. 2016. Effect of *Leucaena leucocephala* on methane production of Lucerna heifers fed a diet based on *Cynodon plectostachyus*. Livest. Sci. 185:24–29.
- Molina, I., Cantet, J. M., Montoya, S., Correa, G. & Barahona, R. 2013. *In vitro* methane production from two tropical grasses alone or in combination with *Leucaena leucocephala* or *Gliricidia sepium*. Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia 8(2):15–31.
- Molina, I. C., Donney's, G., Montoya, S., Rivera, J. E., Villegas, G., Chará, J. & Barahona, R. 2015a La inclusión de *Leucaena leucocephala* reduce la producción de metano de terneras Lucerna alimentadas con *Cynodon plectostachyus* y *Megathyrsus maximus*. Livest. Res. Rural Dev. 27: Article # 96. Available: www.lrrd.org/lrrd27/5/moli27096.html.
- Molina, I. C., Donney's, G., Montoya, S., Villegas, G., Rivera, J. E., Lopera, J. J., Chará, J. & Barahona, R. 2015b. Emisiones *in vivo* de metano en sistemas de producción con y sin inclusión de *Tithonia diversifolia*. In: 3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles y VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales. Agroforestales INTA. Puerto Iguazú, Argentina, 7–9 may, 678–682pp.
- Montagnini, F., Ibrahim, M. & Murgueitio, E. 2013. Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. Bois et Forêts des Tropiques 316(2):3–16.
- Murgueitio E. 2017. El mundo pide una ganadería amiga de la naturaleza y de la gente. Angus & Brangus de Colombia. Bogotá Colombia. Edición 14, pp 15-18.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A. & Solorio, B. 2011. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. For. Ecol. Manag. 261:1654–1663. doi:10.1016/j.foreco.2010.09.027
- Murgueitio, E., Flores, M., Calle, Z., Chará, J., Barahona, R., Molina, C., & Uribe, F. 2015. Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. Pp. 59-101 In: Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. & Eibl, B. (Eds.). Sistemas Agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie Técnica Informe Técnico 402, CATIE, Turrialba, Costa Rica. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 454pp.
- Naranjo, J. F., Cuartas, C. A., Murgueitio, E., Chará, J. D. & Barahona, R. 2012. Balance de gases de efecto invernadero en sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* en Colombia. Livest. Res. Rural Dev. 24, Article #149. 1 August. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd24/8/nara24150.htm>.
- SOCLA. 2014. Agroecology: concepts, principles and applications. Contributions by the Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA) to FAO's International Symposium on Agroecology for Food Security and Nutrition. SOCLA. Available: www.socla.co/wp-content/uploads/2014/socla-contribution-to-FAO.pdf.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. & de Haan, C. 2006. Livestock's long shadow, Environmental issues and options. LEAD-FAO, Rome
- Solorio-Sánchez, F.J., Bacab-Pérez, H. M. & Ramírez-Avilés, L. 2011. Sistemas Silvopastoriles Intensivos: Investigación en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán. In: Xochitl-Flores, M. & Solorio-Sánchez, B. (eds): Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles Intensivos para la producción de leche y carne en el trópico de México. Primera etapa del proyecto estratégico de prioridad nacional. SAGARPA, Fundación Produce Michoacán, COFUPRO, UADY, Morelia, México, 15pp.
- Rivera, J. E., Chará, J. & Barahona, R. 2016. Análisis de ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en Colombia. Trop. Subtrop. Agroecosystems. 19:237–251.
- Rivera J., Molina I., Chará J., Murgueitio E. & Barahona R. 2017. Intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit: productive alternative in the tropic in view of climate change. Pastos y Forrajes 40:159-170.
- Rivera, J. E., Molina, I. C., Donney's, G., Villegas, G., Chará & J., Barahona, R. 2015. Dinámica de fermentación y producción de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala* y sistemas convencionales orientados a la producción de leche. Livest. Res. Rural Dev. 27, Article #76. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd27/4/rive27076.html>.

Received: September 1, 2018