

SISTEMAS SILVOPASTORILES: ALTERNATIVA EN LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA PRODUCCIÓN BOVINA AL CAMBIO CLIMÁTICO*

María Eugenia Buitrago–Guillen¹, Luis Alejandro Ospina–Daza¹, William Narváez–Solarte²

Resumen

El deterioro de los recursos naturales y el calentamiento global generado por la mayor concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI) han puesto en riesgo la vida como se la conoce hoy en el planeta. La producción pecuaria y en mayor medida la producción bovina, contribuyen a la estabilidad socioeconómica de los países y a la calidad de vida de miles de personas. **Objetivo:** fundamentar la posición actual de la producción bovina como una actividad contaminante mundial, al generar dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) a través de la fermentación entérica, la producción de estiércol y la deforestación realizada para su extensión las cuales contribuyen con el cambio climático (CC), y analizar los argumentos que evidencian al sector ganadero como una oportunidad de mitigación y adaptación al CC a través de la aplicación de estrategias sostenibles de producción. **Metodología:** Se realizó una revisión de tipo documental. **Conclusión:** El aumento en la productividad animal haciendo uso eficiente de los recursos naturales, es la estrategia más relevante en la adaptación y mitigación de los efectos del CC por parte de la producción bovina, y los sistemas silvopastoriles (SSP) se convierten en la herramienta fundamental para lograrlo.

Palabras clave: efecto invernadero, gases, ganadería, sistemas agroforestales.

SILVOPASTORAL SYSTEMS: AN ALTERNATIVE IN THE MITIGATION AND ADAPTATION OF BOVINE PRODUCTION TO CLIMATE CHANGE

Abstract

The deterioration of natural resources and global warming generated by the increased concentration of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere have put life as we know it at risk. Livestock production and, to a greater extent, cattle production contribute to the socio-economic stability of the countries and the quality of life of thousands of people. **Objective:** Base the current position of the bovine production as a global

* FR: 21-XI-17. FA: 22-XI-2017.

¹ (c) M.Sc. Maestría en Ciencias Veterinarias, Universidad de Caldas Manizales, Colombia

² Profesor. Departamento de Salud Animal, Universidad de Caldas, Manizales

E-mail: marubugui@gmail.com

CÓMO CITAR:

BUITRAGO-GUILLEN, M.E., OSPINA-DAZA, L.A., & NARVÁEZ-SOLARTE, W., 2018.- Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Bol.Cient.Mus.Hist. Nat.U.de Caldas*, 22 (1): 31-42. DOI: 10.17151/bccm.2018.22.1.2



pollutant activity, as it generates carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) through enteric fermentation, manure production and deforestation carried out for its spread which contribute to climate change (CC). Also, analyze the arguments that show the livestock industry as an opportunity to mitigate and adapt to the CC through the application of sustainable production strategies. **Methodology:** A literature review was carried out. **Conclusion:** The most relevant strategy in adapting to and mitigating the effects of CC from bovine production is the increase of animal productivity that makes efficient use of natural resources, and silvopastoral systems (SPSs) become the fundamental tool for achieving this purpose.

Key words: greenhouse effect, gases, livestock, agroforestry systems.

INTRODUCCIÓN

La distribución de los patrones del clima no ha sido constante a lo largo de la historia, los registros históricos y geológicos muestran las variaciones del clima en una amplia gama en la escala temporal. A pequeña escala, están representadas por sucesiones de periodos secos y lluviosos a lo largo del año, a mayor escala, están determinadas por eras glaciares e interglaciares. Así pues, desde el inicio de los tiempos el ser humano se ha adaptado a los cambios en la naturaleza y ha ido transformando el paisaje en busca de asegurar su supervivencia. Según la NASA, (2017a), la concentración de CO₂ medido en el mes de agosto de 2017 alcanzó las 406,94 ppm, superando las 404,07 ppm registradas en el mismo periodo del año 2016 que era hasta entonces el récord, incluidos los relevamientos de glaciares que datan de hasta 800.000 años; mientras que la temperatura de la superficie global sigue su tendencia de aumento registrándose 2016 como el año más cálido (NASA, 2017b). En este contexto, desde la segunda mitad del siglo XX se vienen presentado periodos cálidos con temperaturas promedio que han superados registros de los últimos 130.000 años (BENAVIDES & LEÓN, 2007).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, afirma que “el calentamiento en el sistema climático es inequívoco” y que desde 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos milenios; la atmósfera y el océano han aumentado su temperatura, los volúmenes de hielo y nieve han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado, a consecuencia de la actividad humana como el cambio en el uso del suelo y los procesos industriales, en los cuales se queman carburantes fósiles como el petróleo, el gas y la gasolina, que liberan dióxido de carbono a la atmósfera (HERRÁN, 2012; IPCC, 2014). Este conjunto de fenómenos ha sido definido como cambio climático por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.

Las investigaciones actuales dan cuenta de que el aumento antropogénico de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera está alterando de diversas formas el balance de radiación del sistema superficie-atmósfera del planeta, encargado de mantener el clima y aumentar la temperatura de la tierra (IPCC, 2014). Los GEI son aquellos componentes de la atmósfera que absorben la energía del sol y la radiación infrarroja térmica producida por los suelos y el océano, y las vuelve a irradiar a la tierra, efecto natural que hace posible la vida (RODRÍGUEZ *et al.*, 2015). Sin embargo, la actividad humana que incluye entre otros la quema de combustibles y la destrucción de los bosques, principalmente, para extensión de la ganadería, ha generado una mayor concentración atmosférica de GEI como el CO₂, CH₄ y el N₂O, que intensifican el efecto invernadero natural (BENAVIDES & LEÓN, 2007). Es por esto por lo que a la ganadería se la cataloga como una actividad altamente contaminante y se le atribuye gran responsabilidad en la presentación de los fenómenos climáticos actuales.

A pesar que el cambio climático es un desafío a largo plazo, requiere una acción urgente debido a que ya se están transformando los ecosistemas de la tierra, lo cual ocasiona cambios radicales en el medio ambiente y en el modo de vida de los seres humanos (CANTÚ, 2014), en especial de aquellos cuya actividad económica depende directamente de la producción agropecuaria, la cual se ve amenazada por el incremento en las temperaturas, el cambio en los patrones de lluvia y la mayor concurrencia de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones, que comprometen la seguridad alimentaria mundial, el desarrollo sostenible y el bienestar de las futuras generaciones (GRAZIANO, 2015). Por estas razones, y a medida que la ciencia ha avanzado en la comprensión de este fenómeno, se ha dejado de considerarlo como un problema únicamente ambiental, para ser entendido y enfrentado como una problemática de sostenibilidad mundial, al influir en los ámbitos sociales y económicos (GERBER *et al.*, 2013).

Dado el rol que se le ha asignado al ganado vacuno en el cambio climático, en esta investigación de tipo documental se presentan argumentos que sostienen que la ganadería, a través del establecimiento de los sistemas silvopastoriles, se puede convertir en una actividad sostenible que favorezca de una manera holística la mitigación y adaptación al cambio climático.

Ganadería y cambio climático

La ganadería es la actividad humana que ocupa la mayor superficie de tierra; el área total dedicada a la producción ganadera es del 70% del área agrícola del planeta y el 30% de toda la superficie terrestre del mismo. Esta actividad, provee aproximadamente el 30% de la proteína para consumo humano en el mundo y contribuye al bienestar de mil trescientos millones de personas, pero al mismo tiempo, impacta negativamente en todas las esferas del medioambiente: aire, suelo, agua y biodiversidad; influyendo

en el CC. La ganadería se constituye en una actividad contaminante al verter materia orgánica, patógenos y residuos farmacológicos a las fuentes de agua y al expandir la producción a zonas no aptas para esta actividad, generando: deforestación, degradación, compactación y erosión de los suelos (PATIÑO *et al.*, 2017; STEINFELD *et al.*, 2006).

Según HRISTOV *et al.* (2013), la bovinocultura contribuye con el 18% de las emisiones de GEI en el planeta, el 9% de las emisiones de CO₂, principalmente por la deforestación, el 39% del CH₄ y el 65% del N₂O antropógeno, todos procedentes de los procesos digestivos normales y del estiércol de los animales. Los dos últimos gases tienen un PCG de 23 y 296 veces superior al del CO₂, respectivamente (CALVET, 2015; GERBER *et al.*, 2013).

Emisiones de metano por los bovinos

El metano es un subproducto de la digestión y fermentación ruminal y puede ser exhalado o eructado por el animal. En condiciones normales, los rumiantes consumen forrajes que mediante los procesos digestivos y la actividad fermentativa de las bacterias, arqueas, hongos y protozoos, que habitan en el rumen de manera simbiótica, son convertidos, principalmente, en ácidos grasos volátiles (AGV), amonio, hidrógeno (H₂) y CO₂ (DENMAN, 2015; LI *et al.*, 2009). Las bacterias metanogénicas o *archaea* usan H₂ para reducir el CO₂ a CH₄ en una serie de reacciones que involucran un gasto del 2 al 12% de la energía consumida por los animales (JOHNSON & JOHNSON, 1995), disminuyendo así el valor energético de los alimentos y contribuyendo negativamente con las emisiones de metano (PATRA&YU, 2012).

El estiércol bovino es una fuente de emisión de GEI, como el metano y el óxido nitroso, en función de su composición la cual depende del contenido energético y digestibilidad de la dieta; de su estado sólido o líquido y la forma de recolectarlo, almacenarlo y dispersarlo. Cuando la materia fecal se almacena en forma líquida, se promueven condiciones anaeróbicas de descomposición y se puede producir metano, pero, cuando el estiércol se deposita directamente sobre las pasturas, tiende a degradarse en forma aeróbica generándose muy poco o nada de este gas (BERRA & FINSTER, 2002). Por su lado, el óxido nitroso se forma a través de la desnitrificación del nitrógeno orgánico depositado en el suelo por medio del estiércol y la orina del ganado o como resultado del uso de fertilizantes agroquímicos, a través de los cuales se suministra cerca del 40% del nitrógeno requerido por los pastos (STEINFELD *et al.*, 2006).

Alternativas de mitigación

Si bien la bovinocultura contribuye al cambio climático y a la contaminación atmosférica, existen opciones efectivas para la mitigación de estos efectos si la actividad se logra convertir en un sistema de producción sostenible (GERBER *et al.*, 2013).

Por lo tanto, y en contraposición a la hipótesis planteada por ZÚÑIGA(2015), en el “proyecto veg” sobre el impacto medioambiental de la ganadería, en el cual se sugiere cambiar sustancialmente los hábitos en la alimentación humana, alejándose del consumo de productos derivados de animales y adoptar una dieta cien por ciento vegetariana, lo que implica eliminar por completo la actividad ganadera; la reducción en la emisión de los GEI puede lograrse a través de la adopción de mejores prácticas productivas en ganadería, que no necesariamente implican un cambio de sistemas de producción o en los hábitos de alimentación. La optimización de la productividad animal a través de una mejor nutrición y una adecuada manipulación de la dieta y gestión de los residuos, constituyen estrategias eficaces para disminuir la producción de los GEI en la ganadería (HRISTOV *et al.*, 2013; GERBER *et al.*, 2013). El uso de forrajes menos lignificados, fórmulas balanceadas y aditivos, además de optimizar la digestión y el aprovechamiento de los nutrientes por parte de los animales permitirían reducir la emisión del metano resultante de la fermentación ruminal (BONILLA & LEMUS, 2012) y al mismo tiempo, incrementar la producción de proteína de origen bovino. Este es un punto crítico que afronta el ganadero colombiano, en los sistemas extensivos con o sin SSP, porque frecuentemente, carece de un sistema de registros que le permita monitorear y tomar las decisiones de programación de las actividades, en las cuales se incluye la eficiente rotación de potreros para pastorear los forrajes en su punto óptimo de madurez y contenido de nutrientes.

La manipulación de la dieta a través del suministro de aditivos en la alimentación como el bromo clorometano (DENMAN *et al.*, 2015), los aceites esenciales y ácidos grasos insaturados (BENCHAAAR & GREATHEAD, 2011) han demostrado ser una alternativa para la disminución en la producción de metano a través de varios mecanismos que incluyen rutas metabólicas como la biohidrogenación, la disminución en la población metanogénica ruminal y la competencia por sustratos derivados de procesos ruminales (BONILLA & LEMUS, 2012; OROZCO *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2014). Sin embargo, las interacciones entre las comunidades microbianas del rumen son complejas y están en constante evolución en respuesta a factores como la dieta y la variabilidad genética de cada animal, por lo que no es posible obtener resultados exitosos en la mitigación del metano ruminal y entérico sin entender las interacciones de los nutrientes con los microorganismos ruminales, su grado de adaptación y mutación frente a estos aditivos y nuevos sustratos alimenticios.

La implementación de tecnologías que permitan una mejor gestión de los residuos y un adecuado procesamiento del estiércol, son estrategias recomendadas por HRISTOV *et al.* (2013) en las cuales se plantea la reutilización del metano generado a través de la digestión anaeróbica. El uso de biodigestores genera biogás y fertilizantes orgánicos, o sea que al mismo tiempo que se disminuyen las emisiones de óxido nítrico a la atmósfera, se utiliza el metano para la generación de energía en la finca, reemplazando a los combustibles fósiles necesarios para este fin.

La implementación de programas estratégicos de alimentación para los bovinos, donde haya presencia de diferentes estratos vegetales, podrían reducir de una manera holística la producción de GEI provenientes de la deforestación y la emisión de metano al mejorar las características fermentativas a nivel ruminal; pues, se ha observado que con la adaptación de estrategias de alimentación que incluyen el consumo de forraje de buen valor nutritivo, incluidas las leguminosas, que contengan taninos condensados, se disminuye hasta en un 15% las emisiones de metano, cuando se comparan con las emisiones de animales alimentados con un forraje de baja digestibilidad (ANDRADE *et al.*, 2012; GERBER *et al.*, 2013; MONTAGNINI *et al.*, 2015).

Sistemas silvopastoriles

Los SSP son una modalidad importante de la agroforestería, en la cual se combinan en el mismo espacio, gramíneas y leguminosas rastreras con especies arbustivas y árboles maderables, destinados a la alimentación animal y a usos complementarios como son: la producción de madera, frutas, sombra, regulación hídrica, hábitat de la fauna silvestre y embellecimiento del paisaje (CRESPO, 2008). En estos sistemas los bovinos aprovechan la oferta abundante de forraje y al mismo tiempo se benefician por el mejoramiento de las condiciones microclimáticas en un ambiente de bajo estrés calórico que les permite mejores condiciones de pastoreo. Los árboles o arbustos en SSP pueden ir desde vegetación nativa o introducida, con fines maderables o agroindustriales, hasta árboles multipropósito en apoyo específico para la alimentación y producción animal.

Según ORTEGA (2013), para que un árbol o arbusto sea forrajero, debe poseer ventajas nutricionales, productivas y de versatilidad agronómica sobre otros forrajes utilizados tradicionalmente. Entre las características principales debe aumentar la producción de los animales cuando estos lo consumen, tolerar la poda y tener un rebrote vigoroso como para obtener niveles significativos de producción de biomasa comestible por unidad de área. En este sentido, existe una gran variedad de plantas con potencial de uso para la implementación de arreglos en SSP que van desde sistemas simples como los árboles dispersos en potrero y las cercas vivas, hasta sistemas intensivos más complejos con alta densidad arbórea o arbustiva para el ramoneo directo (URIBE *et al.*, 2011).

Los árboles dispersos en potreros constituyen el tipo de arreglo de menor inversión financiera, ofrecen sombra y alimento para los animales, generan ingresos por la venta de madera o frutas, brindan recursos, hábitat y refugio para la fauna silvestre y ayudan a conservar los suelos (MURGUEITIO *et al.*, 2009). Las cercas vivas son aquellos sistemas que utilizan árboles y arbustos para delimitar las propiedades (HERNÁNDEZ & SIMÓN, 1993), su establecimiento representa un ahorro significativo con respecto al costo de las cercas convencionales y constituye una forma de reducir la presión

sobre el bosque para la obtención de postes y leña (MURGUEITIO *et al.*, 2009), además, con el tiempo se pueden convertir en corredores y conectores biológicos de fragmentos de bosques. En los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) se emplean los arbustos forrajeros en densidades entre 5000 y 10.000 plantas por hectárea, asociados a pastos mejorados, árboles frutales o maderables bajo modelos de pastoreo rotacional intensivo; la especie utilizada con mayor éxito en este tipo de sistemas en el trópico es la *Leucaena leucocephala* (lam.) de wit por su calidad nutricional, alta capacidad de fijación de nitrógeno, rápido crecimiento y adaptación al ramoneo (MURGUEITIO *et al.*, 2015; URIBE *et al.*, 2011).

Beneficios de los SSP y aportes a la mitigación del cambio climático

Los SSP son en definitiva una herramienta para obtener una ganadería eficiente en términos productivos, de rentabilidad, competitividad y de conservación de los recursos naturales. Cumplen un papel importante en la mitigación del CC al disminuir la presión de deforestación sobre los bosques para la ampliación de la frontera agrícola ganadera y contribuir a la rehabilitación de los ecosistemas degradados.

Las ventajas del silvopastoreo con respecto a potreros con monocultivo de gramíneas han sido identificadas en diversos estudios científicos, reconocidas por los productores y descritas ampliamente por BROOM *et al.* (2013). Los monocultivos presentan baja tolerancia a la sequía por lo que en época seca disminuye la calidad de su forraje y la producción de materia seca (Tabla 1), afectando la productividad animal; en contraste, con los SSP se evidencia mayor estabilidad en la producción y disponibilidad de forraje y nutrientes durante todo el año, mejora en la biodiversidad y alta contribución en la sostenibilidad de los ecosistemas. Por otro lado, la mayoría de las plantas empleadas en estos sistemas han mostrado valores nutricionales superiores a los de las gramíneas comúnmente utilizadas para el pastoreo, por lo que es posible obtener mayores niveles de producción en los sistemas ganaderos (BROOM *et al.*, 2013; MURGUEITIO *et al.*, 2015).

Según MURGUEITIO *et al.* (2014), en un SSPi se puede producir entre 12 y 4,5 veces más carne bovina que en el pastoreo extensivo y que en las pasturas de pastos mejorados sin árboles, respectivamente. Otras ventajas comparativas de los SSPi se relacionan con la disminución de sus aportes al CC a través de varios mecanismos tales como el incremento de los depósitos de carbono en el suelo y la vegetación, la menor emisión de metano gracias a la mayor eficiencia en el rumen del ganado, menores pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera por rápido y eficiente reciclaje de excretas y nutrientes y, mejores parámetros reproductivos del hato (MURGUEITIO *et al.*, 2013).

Tabla 1. Producción de materia seca (MS) en silvopastoreo versus monocultivo de gramíneas.

Especies vegetales	MS Kg/pastoreo	MS Kg/ha/año	Autor
<i>Leucaena Leucocephala</i> + <i>Megathyrsus maximus</i> (Jacq)	4.649		Solorio-Sánchez (2011)
<i>Cynodon plectostachyus</i>	1.074		Solorio-Sánchez (2011)
<i>Leucaena leucocephala</i> + <i>Cynodon plectostachyus</i>		35.470	Murgueitio <i>et al.</i> (2016)
<i>Cynodon plectostachyus</i>		24.150	Murgueitio <i>et al.</i> (2016)
<i>Leucaena Leucocephala</i> + <i>Cynodon plectostachyus</i> + <i>prosopis juliflora</i>		39.400	Mahecha <i>et al.</i> (1999)
<i>Cynodon plectostachyus</i> + <i>prosopis juliflora</i>		38.900	Mahecha <i>et al.</i> (1999)
<i>Cynodon plectostachyus</i>		23.200	Mahecha <i>et al.</i> (1999)

Funciones ecológicas de los SSP

Los SSP ofrecen servicios ambientales como la captura y almacenamiento del carbono atmosférico, lo cual es fundamental en la mitigación al CC puesto que el CO₂ es el gas de mayor impacto en el calentamiento global (CRESPO, 2008; HRISTOV *et al.*, 2013). Una parte importante del carbono presente en la atmósfera puede ser almacenado de forma natural por las plantas en la biomasa aérea mediante los procesos de fotosíntesis; y otra parte en el suelo, a través de la acumulación de materia orgánica (LOK *et al.*, 2013) que puede retener hasta tres veces más carbono (MONTAGNINI *et al.*, 2015).

ANGUIANO *et al.* (2013) en México, encontraron que un SSP con *Leucaena leucocephala* y *Cocos nucifera* (Mill.), retiene entre 101,19 y 128,62 toneladas de carbono por hectárea por año; mientras que en Cuba LOK *et al.* (2013) concluyen que un SSP con *L. leucocephala* como única leguminosa almacena 65,3 ton/ha/año y un monocultivo de pasto 43,7 ton/ha/año. IBRAHIM *et al.* (2006), evaluaron el almacenamiento de carbono orgánico del suelo y de la biomasa arbórea en distintos usos de la tierra en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, y encontraron que en los tres países las pasturas sin árboles fue el uso de la tierra que menos carbono almacenó, mientras que las pasturas con árboles y los SSP son los usos de la tierra con mayores potenciales de almacenamiento.

La asociación de pasturas con árboles contribuye a la fertilidad del suelo, pues lo enriquecen debido a la adición de hojarasca, raíces y tallos que incrementan los niveles de materia orgánica, incorporando gradualmente los nutrientes en el sistema suelo-pasto, razón por la cual se presentan mayores contenidos de Mo, N, Co, P, K, Ca y Mg en suelos con SSP, que en aquellos con monocultivos de gramíneas (CRESPO,

2008; MAHECHA *et al.*, 1999). La fijación de nitrógeno realizado por las leguminosas a través de la simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* en sus raíces, es otro efecto positivo de los SSP sobre la fertilidad del suelo, además de proporcionar un beneficio económico para el productor al reducir el uso de los fertilizantes nitrogenados (MAHECHA, 2002; HRISTOV *et al.*, 2013). En promedio se estima una fijación de 200kg N/ha/año en el trópico (CAMACARO *et al.*, 2004; GIRALDO, 2000 citado por MAHECHA, 2002), cantidad que depende del tipo y proporción de la leguminosa en la pastura, las cepas de *Rhizobium* involucradas, la densidad de siembra, la fertilidad del suelo y las variaciones climáticas (VARGAS *et al.*, 2013).

Las raíces de los árboles y arbustos tienen funciones de retención del suelo, con lo cual se logra protegerlo de las posibles pérdidas por erosión y compactación generadas por el sobrepastoreo y en general por la actividad ganadera (HRISTOV *et al.*, 2013). También protegen el suelo al disminuir los efectos directos del sol, el agua y el viento; y gracias a su sistema radicular permiten restablecer el flujo de nutrientes, pues pueden aprovechar los nutrientes de las capas más profundas del suelo y reciclarlos, permitiendo el intercambio catiónico y una mayor disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio para los forrajes (RAMÍREZ *et al.*, 2012).

Adaptación al cambio climático

La presencia de árboles en altas densidades en los potreros produce sombra, reduce las altas temperaturas, mejora la productividad y calidad de los forrajes, mantiene la humedad de los suelos, reduce la estacionalidad de la producción de carne y leche, y favorece la producción y reproducción de los bovinos (MURGUEITIO *et al.*, 2014). Según el mismo autor, bajo las condiciones climáticas de la región del Caribe seco colombiano los SSPi reducen entre 2 y 3°C la temperatura promedio anual llegando a ser esa disminución hasta de 13°C en los días más calurosos, incrementan la humedad relativa entre 10 y 20%, y reducen la evapotranspiración en aproximadamente 1,8 mm/día, factores que demuestran la capacidad que poseen estos sistemas de mitigar el impacto del CC y permitir la adaptación de la bovinocultura a la nueva realidad climática.

Por otro lado, la presencia de leguminosas en los potreros tiene un efecto directo en la mitigación de las emisiones de N₂O del suelo al disminuir la disponibilidad de nitrato para la desnitrificación (GALLEGO-CASTRO *et al.*, 2014). Del mismo modo, la presencia de taninos condensados y otros metabolitos secundarios presentes en las leguminosas y otras especies de plantas utilizadas en los arreglos silvopastoriles tienen la capacidad de modificar los patrones de fermentación en el rumen y disminuir la población metanogénica ruminal, contribuyendo a la disminución de la síntesis de metano, en comparación con los sistemas de alimentación con base en gramíneas (RUÍZ *et al.*, 2014).

No obstante los beneficios descritos de los SSP en la mitigación del CC, la adopción por parte de los productores no ha correspondido a su importancia debido a que existen limitaciones de diferente índole sobre las cuales son necesarias mayor investigación y capacitación. Entre las restricciones principales se destacan las creencias, costumbres y arraigos de los productores. Desde el punto de vista técnico se debe considerar que los resultados esperados no siempre serán los mismos entre una finca y otra, por factores como: el tipo de suelo, la cobertura inicial sobre la cual se hace el establecimiento, la experticia de quien realiza las labores de campo y, fundamentalmente, la selección de las especies vegetales a ser asociadas según las condiciones agroclimáticas de la región, para que estas expresen su máximo potencial genético de producción.

CONCLUSIÓN

Los SSP son una alternativa holística de producción bovina sostenible que contribuyen a la conservación de los recursos naturales, recuperación de los suelos degradados y el mejoramiento de la productividad animal, para enfrentar y mitigar los efectos del CC; puesto que, favorecen los procesos naturales como el reciclaje de nutrientes, la fertilidad de los suelos, el secuestro de carbono y la disminución en las emisiones de GEI soportados en principios agroecológicos que resultan fundamentales al incrementar la contribución alimentaria, económica y social del sector, propendiendo por el equilibrio entre el desarrollo económico y social, siempre protegiendo el medio ambiente.

REFERENCIAS

- ANDRADE-RIVERO, E., MARTÍNEZ-CAMPOS, A.R., CASTELÁN-ORTEGA, O. A., RÍOS-QUEZADA, J., PACHECO-ORTEGA, Y., & FLORES, J.G.E., 2012.-Producción de metano utilizando plantas taníferas como sustrato en fermentación ruminal *in vitro* y efecto de extractos fenólicos en la microflora ruminal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15:301-312.
- ANGUIANO, J.M., AGUIRRE, J., & PALMA, J.M., 2013.-Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocos nucifera*, *Leucaena leucocephala* Var. Cunninghamham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17 (1):149-160.
- BENAVIDES H.O., & LEÓN, G.E., 2007.-Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- BENCHAAR, C., & GREATHEAD, H., 2011.-Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166: 338-355.
- BERRA, G., & FINSTER, L., 2002.-Influencia de la ganadería argentina. Emisión de gases de efecto invernadero. *Revista Idia XXI*, 2 (2):212-216.
- BONILLA CÁRDENAS, J.A., & LEMUS FLORES, C., 2012.- Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2): 215-246.
- BROOM, D.M., GALINDO, F.A., & MURGUEITTO, E., 2013.-Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *In Proc. R. Soc. B.*, 280: 2013-2025.
- CALVET, S., 2015.-Contaminación atmosférica mitigación y adaptación a través de la nutrición animal. Bilbao: Ministerio de Obras Públicas y Transporte. En: nutriNews.
- CAMACARO, S., GARRIDO, J.C., & MACHADO, W., 2004.- Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebbek* y su transferencia a las gramíneas asociadas. *Zootecnia Tropical* [online], 22 (1): 49-70.
- CANTÚ MARTÍNEZ, P.C., 2014.- Cambio climático: Sus repercusiones para la sustentabilidad. *Ciencia UANL*, 17(67):31-36.
- CRESPO, G., 2008.-Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4):329-335.
- DENMAN, S. E., MARTINEZ FERNANDEZ, G., SHINKAI, T., MITSUMORI, M., & MCSWEENEY, C.S., 2015.- Metagenomic analysis of the rumen microbial community following inhibition of methane formation by a halogenated methane analog. *Front. Microbiol.*, 6:1087.
- GALLEGO-CASTRO, L.A., MAHECHA-LEDESMA, L., & ANGULO, J., 2014.-Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*, 25 (2), 393-403.

- GERBER, P.J., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., *et al.*, 2013.- *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma.
- GRAZIANO DA SILVA, J., 2015.- *El trabajo de la FAO sobre el cambio climático*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 32 p. FAO, París. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5165s.pdf>
- HERNÁNDEZ, I., & SIMÓN, L., 1993.- Los sistemas silvopastoriles: Empleo de la agroforestería en las explotaciones ganaderas. *Pastos y Forrajes*, 16(2).
- HERRÁN, C., 2012.- *El cambio climático y sus consecuencias para América Latina*. Proyecto Energía y Clima de la Fundación Friedrich Ebert-FES. México.
- HRISTOV, A.N., OH, J., LEE, C., MEINEN, R., MONTES, F., OTT, T., *et al.*, 2013.- Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. Producción y sanidad animal FAO documento No. 177. FAO, Roma, Italia.
- IBRAHIM, M., CHACÓN, M., CUARTAS, C., NARANJO, J., PONCE, G., *et al.*, 2006.- Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica Y Nicaragua. *Agroforestería de las Américas*, 45:27–36.
- IPCC., 2014.- Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto Informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 p.
- JOHNSON, K.A., & JOHNSON D.E., 1995.- Methane Emissions from Cattle. *J Anim Sci* 73: 2483-2492.
- LI, M., PENNER, G.B., HERNANDEZ-SANABRIA, E., OBA, M., & GUAN, L.L., 2009.- Effects of sampling location and time, and host animal on assessment of bacterial diversity and fermentation parameters in the bovine rumen. *Journal of Applied Microbiology*, 107 (6): 1924-1934.
- LOK, S., FRAGA, S., NODA, A., & GARCÍA, M., 2013.- Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(1):75-82.
- MAHECHA, L., 2002.- El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev. colomb. cienc. pecu.*, 15 (2): 226-231.
- MAHECHA, L., ROSALES, M., MOLINA, C.H. & MOLINA, E.J., 1999.- Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala-Cynodon plectostachyus-Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. (en) *Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. Serie FAO Producción y Salud Animal*, 143: 407-420.
- MONTAGNINI, F., 2015.- Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. En *Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. pp.269-297.
- MURGUEITIO E., CUARTAS C., & NARANJO J., 2009.- *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. Segunda edición. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 490 p.
- MURGUEITIO, E., CHARÁ, J.D., SOLARTE, A.J., URIBE, F., ZAPATA, C., & RIVERA, J.E., 2013.- Agroforestería pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (Colombian journal of animal science and veterinary medicine)*, 26: 313-316.
- MURGUEITIO, E., CHARÁ, J., BARAHONA, R., CUARTAS, C., & NARANJO, J., 2014.- Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3): 501-507.
- MURGUEITIO, E., XÓCHITL FLORES, M., CALLE, Z., CHARÁ, J., BARAHONA, R., MOLINA, C.H., *et al.*, 2015.- Productividad en sistemas silvopastoriles intensivos en América Latina. (en) *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia, pp.: 59-101.
- MURGUEITIO, E., URIBE, F., MOLINA, C., MOLINA, E., GALINDO, W., CHARÁ, J. *et al.*, 2016.- *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena*. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 220p.
- NASA., 1017a.- Carbon Dioxide. Disponible en: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> [2/10/ 2017].
- NASA., 1017b.- Global Temperature. Disponible en: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> [2/10/ 2017].
- OROZCO-DURÁN, K.E., CAMACHO, J.H., CASTELÁN-ORTEGA, O.A., BENAVIDES, L.M., BUENROSTRO-DELGADO, O., & KÚ-VERA, J.C., 2016.- Reducción de la metanogénesis ruminal *in vitro* con aceites vegetales de *Thevetia peruviana* y *Persia americana*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 335-344.
- ORTEGA, J. A., 2013.- Características nutricionales de algunas leñosas forrajeras. *Abanico Veterinario*, 3(3):42-51.
- PATIÑO, J., RIVERA, B., PATIÑO, M., & VARGAS, J.E., 2017.- Interpretaciones y recomendaciones sobre las prácticas profesionales desde el proyecto "Asistencia técnica para el fortalecimiento de la producción lechera en Caldas". *Revista Veterinaria y Zootecnia*, 11(2): 34-54.
- PATRA, A.K. & ZHONGTANG, Y.U., 2012.- Effects of essential oils on methane production and fermentation by, and abundance and diversity of, rumen microbial populations. *Applied and Environmental Microbiology*, 78 (12):4271-4280.
- RAMÍREZ, B.L., LAVELLE, P., ORJUELA, J.A. & VILLANUEVA, O., 2012.- Caracterización de fincas ganaderas y adopción de sistemas agroforestales como propuesta de manejo de suelos en Caquetá, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias (Colombian journal of animal science and veterinary medicine)*, 25(3): 391-401.
- RIBEIRO PEREIRA, L.G., MACHADO, F.S., CAMPOS, M.M., GUIMARAES JÚNIOR, R., TOMICH, T.R., REIS, L.G., *et al.*, 2014.- Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 28 (2):124-143.
- RODRÍGUEZ, M., MANCE, H., BARRERA REY X. Y GARCÍA ARBELÁEZ C., 2015.- Cambio climático: lo que está en juego. Foro Nacional Ambiental, Segunda edición, 102 p, Bogotá, Colombia.
- RUÍZ, T.E., FEBLES, G.J., GALINDO, J., SAVÓN, L., CHONGO, B. *et al.*, 2014.- *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1): 79–82.

- SOLORIO SÁNCHEZ, E.J., BACAB PÉREZ, H.M., RAMÍREZ AVILÉS, L., 2011. Sistemas silvopastoriles intensivos: Investigación en el Valle de Tepalcatepec, Michoacán, 7-15 (en): Xóchitl-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*. Morelia, Michoacán, SAGARPA, Fundación Produce Michoacán, COFUPRO, UADY.
- STEINFELD, H., PIERRE, G., WASSENAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M. & HAAN, C., 2006.-*La Larga Sombra Del Ganado*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma.
- URIBE, F., ZULUAGA, A.F., VALENCIA, L., MURQUEITIO, E., ZAPATA, A., SOLARTE, L.*et al.*, 2011.-*Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles*. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. Bogotá.
- VARGAS SANJUR, J.I., ESTRADA ÁLVAREZ, J. Y MORALES LONDOÑO, C.S., 2013.- Efecto de uso del suelo bajo un sistema silvopastoril estrella (*Cynodon plectostachyus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) sobre las simbiosis (*Rhizobium*, *Micorrizas*). *Veterinaria y Zootecnia*, 7 (2).
- ZÚÑIGA, N., 2015.- Impacto medioambiental de la ganadería. proyectoveg – conciencia y sustentabilidad. Disponible en: <http://proyectoveg.com/salud-y-medioambiente/industria-ganadera-e-impacto-medioambiental> [4/11/2016].