



Arbustivas y arbóreas del piedemonte amazónico colombiano: potencial nutricional y ambiental en sistemas ganaderos¹

Shrubs and trees of the Colombian Amazonian foothills: Nutritional and environmental potential in livestock systems

Juan Pablo Narváez-Herrera², Joaquín Angulo-Arizala², Wilson Barragán-Hernández³,
Liliana Mahecha-Ledesma²

¹ Recepción: 13 de septiembre, 2022. Aceptación: 24 de enero, 2023. El trabajo se deriva la propuesta de tesis de Doctorado en Ciencias Animales del primer autor "Especies forrajeras promisorias como estrategia de mitigación/adaptación al cambio climático en sistemas ganaderos del Piedemonte Amazónico del departamento del Putumayo". Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia.

² Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias (GRICA). AA1126, Ciudadela Robledo, Calle 70 No 52-21. Medellín, Colombia. juan.narvaezh@udea.edu.co (<https://orcid.org/0000-0003-2766-2939>); joaquin.angulo@udea.edu.co (<https://orcid.org/0000-0003-3352-8795>); liliana.mahecha@udea.edu.co (autora para correspondencia, <http://orcid.org/0000-0003-3377-8399>).

³ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación El Nus. San Roque, Colombia. wbarraganh@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0003-3528-4296>).

Resumen

Introducción. Los sistemas ganaderos del piedemonte amazónico se caracterizan por una baja eficiencia en el uso del suelo, predominio de monocultivos de gramíneas y disminución significativa de la cobertura arbórea, que sumado a la contribución de gases de efecto invernadero, relacionan la actividad ganadera con el calentamiento global. **Objetivo.** Recopilar y analizar resultados de investigaciones sobre las especies *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard, *Piptocomo discolor* (Kunth) Pruski y *Guazuma ulmifolia* Lam. **Desarrollo.** Mediante el uso de Google Scholar, fórmulas de búsqueda y términos claves asociados al objetivo del estudio, se recuperaron y analizaron 97 documentos. Para las especies de interés, se reportó un amplio rango de adaptación ambiental (0 - 1600 m s. n. m. y entre 1000 y 3700 mm precipitación/año), con potencial para desarrollarse en suelos mal drenados y con bajo pH. Su uso se asoció a cercas vivas, bancos forrajeros, consumo en pastoreo, entre otros. Asimismo, se reportaron valores de materia seca entre 23 y 35 %, proteína cruda entre 15 y 21 % y FDN y FDA <60 % y <45 %, respectivamente. También se encontraron reportes de metabolitos secundarios como taninos y saponinas, lo que podría relacionarse con un potencial para mitigar metano entérico. Se analiza la inclusión de estas especies de plantas forrajeras o similares, por tener un impacto positivo en el almacenamiento de carbono y restauración de áreas degradadas, dadas sus implicaciones en el suelo como fijación de nitrógeno (leguminosas) y aporte de nutrientes vía hojarasca. **Conclusiones.** Por sus características nutricionales, adaptación y perfil fitoquímico, sería pertinente evaluar el comportamiento de las especies *E. poeppigiana*, *C. fairchildiana*, *P. discolor* y *G. ulmifolia*, como estrategia para mejorar la oferta nutricional y disminuir las emisiones de metano entérico en condiciones de piedemonte amazónico.

Palabras clave: cambio climático, ganadería, plantas forrajeras, sistemas agropascícolas.



Abstract

Introduction. The Amazon foothills livestock is characterized by inefficient land use, pasture monoculture, and significant reduction of the forest, which added to greenhouse gas emissions; it correlates the livestock practices to climate change. **Objective.** To compile and analyze research on *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard, *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski and *Guazuma ulmifolia* Lam. **Development.** Through the use of Google Scholar, search algorithms, and keywords 97 papers related to this study were found and analyzed. To the forage shrubs of interest, the review reported a wide environmental range of adaptation (0 - 1600 m a. s. l. and between 1000 and 3700 mm rain/year), with the potential to develop in poorly drained soils and with low pH. The use of these shrubs in livestock was related to living fences, fodder banks, and direct intake, among others. Likewise, the literature review reported a dry matter concentration between 23 and 35 %, crude protein between 15 % and 21 %, and NDF and ADF <60 % and <45 %, respectively. Additionally, reports of secondary plant metabolites like tannins and saponins were also found, which could be related to the reduction of enteric methane. Lastly, the review examines the potential effect on carbon storage and land restoration by including the shrubs species discussed in the present study due to the possible effect on nitrogen fixation (legumes) and soil nutrient restoration via litter decomposition. **Conclusions.** Due to their nutritional characteristics, wide range of adaptation, and phytochemical profile, it would be pertinent to evaluate the behavior of the species *E. poeppigiana*, *C. fairchildiana*, *P. discolor*, and *G. ulmifolia*, as a strategy to improve nutrition and reduce methane emission in the Amazon foothills livestock farming.

Keyword: forage plants, livestock, climate change, agropastoral systems.

Introducción

Los sistemas ganaderos proporcionan múltiples beneficios a los seres humanos, ofrecen productos de origen animal ricos en proteína que contribuyen a la seguridad alimentaria, fomentan el empleo y dinamizan la economía rural, además se convierten en capital disponible y fuerza de trabajo en muchos países en desarrollo (Sekaran et al., 2021). En Colombia, la ganadería es una de las actividades productivas que más aporta al sector rural del país, con una participación del 53 % del producto interno bruto (PIB) pecuario, 19,5 % del agropecuario y 1,3 % del PIB nacional (Enciso et al., 2018).

En el piedemonte amazónico colombiano, la ganadería bovina es la principal actividad productiva y se posiciona en el quinto lugar en el inventario bovino nacional (Enciso et al., 2018). Sin embargo, esta actividad pecuaria presenta baja productividad y rentabilidad, con un impacto ambiental negativo y uno de los núcleos de deforestación de mayor persistencia a nivel nacional (Enciso et al., 2018; Pardo Rozo et al., 2020).

La baja productividad zootécnica de los sistemas pecuarios del piedemonte amazónico y la alta tasa de deforestación (34 % de la deforestación nacional) (Forero et al., 2016), puede comprometer el cumplimiento de las metas ambientales nacionales de los sistemas pecuarios locales.

Para mantener el incremento anual de temperatura ambiente por debajo de 2 °C a través de baja emisión de gases de efecto invernadero (GEI) por parte de la ganadería (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2015), se requiere una mayor eficiencia en la producción ganadera a través de prácticas sostenibles. Por ello, se ha planteado el uso de estrategias para mejorar el rendimiento productivo animal, disminuir la deforestación y el impacto ambiental generado por la ganadería bovina extensiva, al considerar como eje principal al árbol (Valencia-Salazar et al., 2018).

Los árboles y arbustos nativos son fundamentales para la rehabilitación productiva y la conservación de la biodiversidad en los paisajes ganaderos (Murgueitio et al., 2011). La presencia de especies leñosas en los potreros

puede contribuir a la disminución de la deforestación y degradación de los suelos, la cual se ha incrementado de manera acelerada en los últimos años (Cabrera-Núñez et al., 2019).

La mayoría de las especies arbóreas y arbustivas poseen abundante forraje, algunos contienen frutos y vainas que pueden ser utilizados también en la alimentación animal (Pinto-Ruiz et al., 2010), se ha reportado que las hojas de *Albizia niopoides* (Spruce ex Benth.), *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Samanea saman* (Jacq.), *Moringa oleifera* Lam., *Cordia dentata* Poir. y *Guazuma ulmifolia* Lam. poseen un alto contenido de proteína comparados con las gramíneas tropicales, considerándose como una alternativa promisorias, debido a su gran potencial como forrajeras (Pérez-Almario et al., 2013).

En el piedemonte amazónico colombiano se han caracterizado especies como *Clitoria fairchildiana* R.A. Howard y *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski, los resultados indican aceptables contenidos nutricionales que posibilitan su uso en alimentación animal (Riascos-Vallejos et al., 2020; Suárez et al., 2008). Sin embargo, aún se hace necesario llevar a cabo investigaciones relacionadas con el reconocimiento, evaluación y selección de especies promisorias, debido a la gran diversidad florística presente en la zona.

El objetivo de la presente revisión fue recopilar y analizar información producto de investigaciones sobre las especies forrajeras *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, *C. fairchildiana*, *P. discolor* y *G. ulmifolia*.

Influencia de la ganadería bovina en el piedemonte amazónico colombiano

La Amazonía, al ser la mayor selva tropical del mundo, desempeña un papel fundamental para la tierra, influye en los flujos globales de carbono, el ciclo del agua y la biodiversidad (Cherubin et al., 2018). En el piedemonte amazónico colombiano, la ganadería continúa siendo una de las principales actividades económicas (Pardo Roza et al., 2020). Sin embargo, esta amplia región se colonizó por parte del hombre de manera desproporcionada, sin medir las implicaciones ocasionadas por la intervención de un ecosistema frágil, con manejo inapropiado del recurso suelo, especies vegetales no adaptadas con deficiente manejo de praderas y animales (Cuesta Muñoz & Gómez Mesa, 2002).

Se ha documentado que un sistema ganadero de doble propósito en el piedemonte amazónico se caracteriza por una baja carga animal (0,35–1,71 UGG/ha), ganancias de peso de 321,5 g/día y entre 4,3 y 8 L de producción de leche por vaca día (Enciso et al., 2018; Torrijos et al., 2017), con emisiones de GEI de 19,6 kg CO₂ eq/kg de carne y 1,63 kg de CO₂ eq/L de leche, lo que permite inferir que el 85 % de estas emisiones, provienen de la fermentación entérica (Enciso et al., 2018).

El establecimiento de pasturas para ganadería bovina se ha realizado a partir de la tala y quema de bosques de manera acelerada en los últimos cincuenta años, con posibles cambios irreversibles en la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Brando et al., 2020). En la actualidad, los bosques amazónicos son transformados en pastazales para la implementación de sistemas ganaderos extensivos, caracterizados por su baja inversión tecnológica y bajo rendimiento productivo (Mora-Marín et al., 2017; Murcia García et al., 2007).

Los cambios de cobertura natural implican procesos de tala y quema de bosque, los reportes de deforestación en la región amazónica colombiana para el periodo comprendido entre los años 2017 - 2018 fueron de 138 176 ha, comparados con 56 962 ha deforestadas en los años 2014 - 2015 (Olaya López, 2022), donde los departamentos con mayores pérdidas de cobertura boscosa fueron Caquetá (43,7 %), Meta (16,3 %), Putumayo (15,9 %) y Guaviare (12,2 %) (Guarnizo et al., 2020).

La producción ganadera en el piedemonte amazónico colombiano se basa en el uso de gramas naturales y pastos introducidos, entre los que predominan diferentes especies del género *Urochloas* sp. (*syn. Brachiarias*) (Rivera et al., 2015). Este tipo de gramíneas presentan bajos niveles de proteína cruda (6,03 %), digestibilidad (48,1 - 55,1 %) y altos niveles de fibra (FDN: 67,3 - 80,8 % y FDA: 39,5 - 55,8 %), situación que se acrecienta

durante los meses de menores precipitaciones donde se disminuye la oferta forrajera y se afecta la productividad animal (Rivera et al., 2015; Suárez Salazar et al., 2008; Velásquez & Muñoz Ramos, 2006).

Los sistemas ganaderos de esta región requieren una reconversión productiva donde se reemplacen los monocultivos de gramíneas por la combinación de pastos naturalizados y especies vegetales perennes, con mayor tolerancia y adaptación a las particularidades de los suelos amazónicos (Landínez-Torres, 2017), una alternativa es la implementación de sistemas silvopastoriles (SSP) (Gómez Fuentes Galindo et al., 2017).

Se ha demostrado que los SSP permiten la interacción de una o más especies vegetales en diferentes estratos, en un mismo espacio y periodo de tiempo (Murgueitio et al., 2016). Además, de considerarse como un factor determinante en la recuperación de suelos y pasturas degradadas, mitigación de las emisiones de GEI, la generación de servicios ecosistémicos, reforestación y conservación de la biodiversidad, la reducción de la huella de carbono y adaptación al cambio climático, frente a la ganadería extensiva tradicional (Sotelo et al., 2017).

Características edafoclimáticas y usos de especies arbóreas y arbustivas del piedemonte amazónico

Factores como las variaciones en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, los fenómenos del Niño y la Niña, así como las altas temperaturas, generan efectos importantes en la producción de alimentos (Riascos-Vallejos et al., 2021), sumado a esto, las pasturas tropicales por la calidad de los suelos en la amazonia se caracterizan por presentar baja producción de biomasa y baja calidad nutricional (Rivera et al., 2015), razones por las que los productores ven la necesidad de encontrar nuevos materiales que ayuden a mejorar la oferta alimenticia para sus animales (Gallego-Castro et al., 2017).

Las condiciones edafoclimáticas de la región amazónica, condicionan la actividad ganadera, se han observado precipitaciones de hasta los 3500 mm anuales, temperaturas superiores a los 30 °C y humedad relativa del 86 % (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2018), no obstante, las plantas arbustivas y arbóreas surgen como una alternativa de producción con aceptables características de adaptación (Riascos-Vallejos et al., 2020). Es el caso de las especies forrajeras *E. poeppigiana*, *C. fairchildiana*, *P. discolor* y *G. ulmifolia*, las cuales se encuentran presentes en bosques de regeneración y secundarios en el piedemonte amazónico (Cuadro 1).

E. poeppigiana es una leguminosa perteneciente a la familia Fabaceae (Espeche et al., 2020) al igual que *C. fairchildiana* (Vale-Montilla, 2019). *P. discolor* pertenece a la familia Asteraceae (Hurtado Ducuara & Guayara Suárez, 2013) y *G. ulmifolia*, es una Esterculiaceae (Matulevich Pelaez & Garcia Rodríguez, 2016). Estas especies son propias del neotrópico, presentan varias potencialidades como alternativa de alimento para rumiantes durante la época de mínima precipitación, con escasas forrajera, están adaptadas a los suelos degradados de baja fertilidad y a las condiciones climáticas cambiantes del trópico, lo que garantiza su supervivencia, persistencia y crecimiento (Rodríguez Fernández & Fandiño, 2013).

Por las características de ubicación del piedemonte amazónico, las condiciones de humedad, precipitación y temperatura que propician la abundancia de flora y fauna (Pardo Roza et al., 2020), es factible la incorporación en sistemas ganaderos de especies arbustivas como *E. poeppigiana*, *C. fairchildiana*, *P. discolor* y *G. ulmifolia*, las cuales toleran altos niveles de precipitación (entre 1500 y 3 600 mm/año), propios de la región amazónica donde prevalece el bosque húmedo tropical (Padilla-Gil, 2019).

Estudios reportan que la utilización de árboles en sistemas ganaderos tiene efectos positivos en la recuperación y conservación de suelos. La presencia de *M. oleifera* contribuye, en el corto plazo, a recuperar las características biológicas del suelo en condiciones de bosque húmedo tropical (Navas-Panadero & Ríos de Álvarez, 2019), al igual se considera que *E. poeppigiana* y *C. fairchildiana* por ser leguminosas tienen la capacidad de establecer relaciones simbióticas con microorganismos fijadores de nitrógeno (bacterias del género *Rhizobium*), considerándose importantes en la recuperación de suelos degradados (Bianco & Cenzano, 2018; Pedrozo et al., 2018).

Cuadro 1. Características edafoclimáticas y usos de especies leñosas del piedemonte amazónico colombiano reportadas por varios autores. Colombia, 2022.

Table 1. Edaphoclimatic characteristics and uses of woody species in the Colombian Amazonian foothills reported in the literature. Colombia, 2022.

Especie forrajera	Altitud msnm	Precipitación mm año	Usos	Condiciones suelos	Referencia
<i>Erythrina poeppigiana</i>	600 – 1300	1000 – 2500	Bancos forrajeros Sombra Restaurador de suelos Cercas vivas Fijación de N	Tolera suelos de alto nivel freático e incluso inundaciones Textura arcillosa a franca	Botero & Russo (1999)
<i>Clitoria fairchildiana</i>	0 – 1200	2000 – 3600	Bancos forrajeros Cercas vivas Fijación de N Restaurador de suelos	Tolera suelos con bajo nivel de fertilidad, alto grado de acidez y de saturación de aluminio	Jaquetti et al. (2021)
<i>Piptocoma discolor</i>	0 – 1000	2500 – 3700	Regenerador de suelos Bancos forrajeros Madera Dendroenergético	Tolera suelos arcillosos, ácidos, bajos en fósforo, con altos contenidos de aluminio	Hurtado Ducuara & Guayara Suárez (2013); Riascos-Vallejos et al. (2020); Salto et al. (2015)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0 – 1600	700 – 1500	Bancos de proteína Cercas vivas Medicinal (antioxidante, antimicrobiano)	Tolera suelos con alto contenido de aluminio, arcillosos y de alta compactación	Araujo Pereira et al. (2019); Rojas-Rodríguez & Torres-Córdoba (2019)

Composición química y producción de biomasa de especies arbóreas y arbustivas del piedemonte amazónico

En regiones tropicales como el piedemonte amazónico, el recurso básico para la obtención de la energía alimentaria para los rumiantes son los forrajes herbáceos, gramíneas, que por lo general no cubren los requerimientos nutricionales de los animales (Barahona & Sanchez, 2005). La incorporación de árboles y arbustos por medio de los SSP se considera una opción para obtener forraje de alto valor nutricional y a la vez aprovechar los múltiples servicios ambientales derivados de su implementación (Murgueitio et al., 2011).

Varios árboles y arbustos nativos de Mesoamérica como las *Erythras* spp., *G. sepium*, *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* y *Prosopis juliflora*, entre otros, presentan altos contenidos de proteína cruda (14 a 32 %) (Cuadro 2) y aceptable producción de biomasa forrajera con valores que oscilan entre 7 y 14 t/ha/año MS, cuando se siembran a una densidad de 20 000 a 40 000 plantas por hectárea y con una frecuencia de corte entre 3 y 6 meses (Ibrahim et al., 2004).

Las especies analizadas se pueden considerar de elevado potencial forrajero. Estudios reportan una producción de biomasa promedio de *C. fairchildiana*, de 861,5 g/planta de MS, en dos tipos de suelos del piedemonte amazónico colombiano (Suárez et al., 2006). En la actualidad la búsqueda de alternativas de alimentación ha permitido evaluar varias especies promisorias. Al comparar el rendimiento productivo de *Morus alba* L., *Hibiscus rosa-sinensis* L. y *E. poeppigiana*, se encontraron diferencias significativas a favor de esta última, relacionadas con una mayor relación de hojas por tallo y producción de forraje (683,5 g/planta de MS), lo que demuestra su elevada capacidad de producción de biomasa forrajera (Vargas Burgos et al., 2015).

P. discolor, es una especie de fácil adaptación y con gran capacidad de producción en zonas de regeneración natural, reportes indican un rendimiento de 180,56 g de MS/planta a los 60 días post corte en el piedemonte

Cuadro 2. Valores promedio de composición nutricional de las especies seleccionadas reportada por varios autores para condiciones tropicales. Colombia, 2022.

Table 2. Mean nutritional composition values reported by several authors for the selected species in tropical conditions. Colombia, 2022.

Especie	Variable (%)	Valor	Edad y época de corte	Referencia
<i>Erythrina poeppigiana</i>	MS	23,4	60 días	Meza et al. (2014)
		25,15	90 días	Alvarez-Brito et al. (2020)
	PC	20,6	60 días	Meza et al. (2014)
		16,8	90 días	Alvarez-Brito et al. (2020)
	FDN	52,19	60 días	Meza et al. (2014)
		47,73	90 días	Alvarez-Brito et al. (2020)
	FDA	32,18	60 días	Meza et al. (2014)
		36,23	90 días	Alvarez-Brito et al. (2020)
<i>Clitoria fairchildiana</i>	MS	35,01	60 días - ES 55 días	Riascos-Vallejos et al. (2020)
		32,13		Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA] (2021)
	PC	18,07	60 días - ES	Riascos Vallejos et al. (2020)
		20,33	63 días - hojas	AGROSAVIA (2021)
	FDN	47,3	60 días - EL	Narváez & Lascano (2004)
		41,1	60 días - ES	Riascos-Vallejos et al. (2020)
	FDA	54,81	55 días	AGROSAVIA (2021)
		32,13	60 días - ES	Riascos Vallejos et al. (2020)
	28,71	55 días	AGROSAVIA (2021)	
<i>Piptocoma discolor</i>	MS	28,85	60 días - ES	Castañeda-Álvarez et al. (2016)
		28,5	60 días - ES	Riascos-Vallejos et al. (2020)
		23,71	55 días	AGROSAVIA (2021)
	PC	21,5	60 días - ES	Castañeda-Álvarez et al. (2016)
		20	60 días	Riascos-Vallejos et al. (2020)
	FDN	15,66	60 días - ES 60 días	AGROSAVIA (2021)
		46,6		Castañeda-Álvarez et al. (2016)
	FDA	53	60 días - ES 60 días	Riascos-Vallejos et al. (2020)
53,35		AGROSAVIA (2021)		
FDA	27,25	60 días - ES 60 días	Castañeda-Álvarez et al. (2016)	
	40,5		Riascos-Vallejos et al. (2020)	
	29,48		AGROSAVIA (2021)	
<i>Guazuma ulmifolia</i>	MS	38,2	60 días	Alvear et al. (2013)
		33,93		AGROSAVIA (2021)
		39,8		Valencia-Salazar et al. (2021)
	PC	15,1	60 días	Narváez & Lascano (2004)
		17,3		Alvear et al. (2013)
		15,07		Valencia-Salazar et al. (2021)
	FDN	58,1	60 días	Narváez & Lascano (2004)
		48,04		Pérez-Can et al. (2020)
61,78		Valencia-Salazar et al. (2021)		
FDA	35,3	60 días	Narváez & Lascano (2004)	
	26,02		Pérez-Can et al. (2020)	
	45,29		Valencia-Salazar et al. (2021)	

MS%: materia seca/dry matter. PC%: proteína cruda/crude protein. FDN%: fibra en detergente neutro/neutral fibre detergent. FDA%: fibra en detergente ácido/acid fibre detergent. ES: época seca/dry season. EL: época de lluvias/rainy season.

amazónico del departamento del Caquetá (Hurtado Ducuara & Guayara Suárez 2013). Sobresale por su rápido crecimiento, en comparación con otras forrajeras tropicales (Hernández Benalcázar et al., 2015). En cuanto a la producción de forraje de *G. ulmifolia*, existen reportes de 171 g/planta de MS a los 45 días (Vargas & Quintero, 2017) y 390 g/planta de MS con 120 días de recuperación (Rodríguez Fernández & Fandiño, 2013).

La inclusión de especies nativas ofrece la posibilidad de mejorar el conocimiento del potencial productivo de los recursos forrajeros que forman parte del patrimonio genético y que puede contribuir con las soluciones tecnológicas demandadas por los productores en la actualidad (Rodríguez Fernández & Fandiño, 2013).

Potencial para la disminución de CH₄ entérico de plantas arbustivas y arbóreas del piedemonte amazónico

Las regiones tropicales de todo el mundo presentan una alta variedad de árboles, arbustos y plantas herbáceas de elevada composición nutricional (14 a 32 % de proteína cruda) y con potencial para ser utilizadas como alternativa alimenticia en los sistemas de producción ganaderos (Valencia-Salazar et al., 2021). Esta diversidad de especies favorece procesos de recuperación de suelos degradados, fijación de nitrógeno y la disminución de las emisiones de CH₄ de origen ruminal, debido al contenido de metabolitos secundarios en el tejido vegetal (Arango et al., 2020).

La pérdida de energía en forma de CH₄ tiene una importancia significativa, debido a que las dietas de los bovinos en el trópico se basan en el pastoreo gramíneas nativas y pastos naturalizados con bajo contenido de proteína cruda (<7 %), digestibilidad (<50 %) y alto contenido de carbohidratos estructurales (60-80 % FDN) (Benitez et al., 2017; Ku-Vera et al., 2013; Piñeiro-Vázquez et al., 2017). Este tipo de dietas, generan una alta proporción de ácido acético, baja producción de propionato y un aumento en la emisión de CH₄ entérico (Archimède et al., 2014).

Lograr una reducción en la producción de CH₄ en los rumiantes es uno de los principales objetivos para reducir las emisiones de GEI y mejorar el rendimiento productivo animal (Hristov et al., 2013).

La mayoría de plantas producen diversos compuestos biológicos que son clasificados como metabolitos primarios y secundarios (Cardona-Iglesias et al., 2016). Las moléculas activas que participan en procesos como el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de las plantas, son considerados metabolitos primarios (Bodas et al., 2012). Los metabolitos secundarios actúan en la planta como mecanismos de defensa contra agentes externos, ataques de insectos o adaptación a condiciones climáticas adversas y su presencia puede variar entre especies por el estado fenológico de la planta y por factores ambientales (Patra & Saxena, 2011; Ramakrishna & Ravishankar, 2011; Wallace, 2004).

En términos de acción metabólica, el efecto de los metabolitos secundarios en el rumen se fundamenta en la inhibición/control del crecimiento/ desarrollo de protozoos y arqueas metanogénicas (Patra & Saxena, 2009a). La acción de los taninos depende de su estructura química, así como de la especie bacteriana (Vasta et al., 2019), estos provocan una alteración en la permeabilidad y cambios morfológicos en las membranas de los microorganismos ruminales (Scalbert, 1991; Smith et al., 2005) (Figura 1). Sin embargo, la respuesta sobre el rendimiento animal y la disminución de metano, dependerá de las dosis, estructura química, peso molecular y composición de la dieta (Ortiz et al., 2014).

Se han llevado a cabo varios estudios para evaluar las alternativas de reducción del CH₄ entérico por acción de los metabolitos secundarios de las plantas. Por lo anterior, se ha documentado que la inclusión de taninos de *Acacia mearnsii* De Wild. disminuye en un 43 % la producción de metano *in vitro* (Durmic et al., 2014). De igual manera, Pérez-Can et al. (2020) reportaron que la inclusión del forraje de especies arbóreas y arbustivas como *L. leucocephala* (14,47 mL CH₄/g/MS), *G. sepium* (40,49 mL CH₄/g/MS), *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray (20,17 mL CH₄/g/MS) y *G. ulmifolia* (34,06 mL CH₄/g/MS) tienden a disminuir la producción de metano *in vitro* (Cuadro 3).

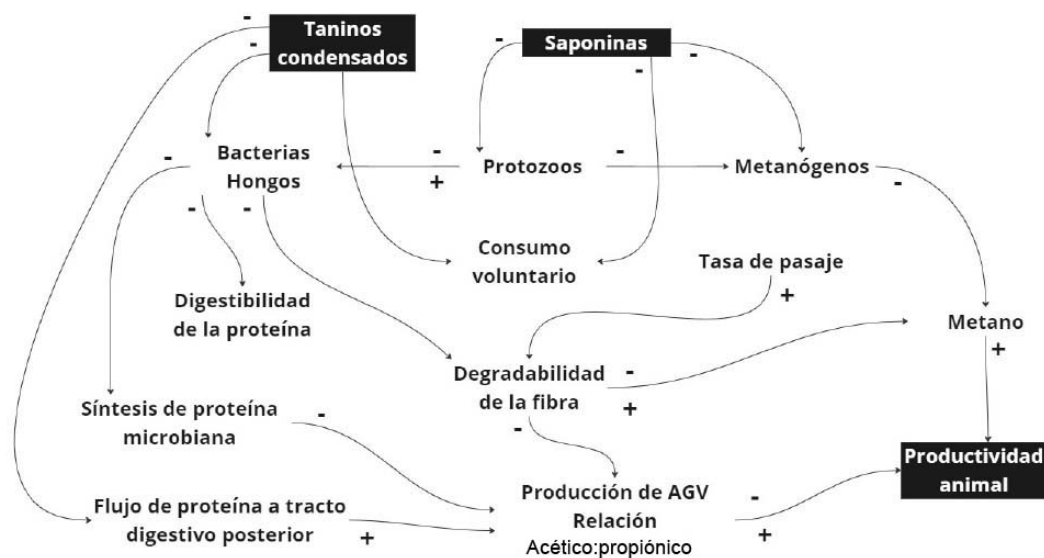


Figura 1. Representación del mecanismo de acción de los taninos condensados y saponinas sobre la microbiota ruminal y la producción de metano. Adaptado de: Patra y Saxena (2009b).

Figure 1. Representation of the mechanism of action of condensed tannins and saponins on rumen microbiota and methane production. Adapted from Patra and Saxena (2009b).

Cuadro 3. Producción de metano *in vitro* y perfil fitoquímico de *E. poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, *C. fairchildiana* R.A. Howard, *P. discolor* (Kunth) Pruski y *G. ulmifolia* Lam, reportada por varios autores para condiciones tropicales. Colombia. 2022.

Table 3. *In vitro* methane production and phytochemical profile of *E. poeppigiana* (Walp.) O.F. Cook, *C. fairchildiana* R.A. Howard, *P. discolor* (Kunth) Pruski, and *G. ulmifolia* Lam, reported by several authors for tropical conditions. Colombia. 2022.

Especie forrajera	mL CH ₄ g MS fermentada	% de MSP		Presencia de MSP		Referencia
		TC	SP	TC	SP	
<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp.) O.F. Cook	22,1	0,4	ND	+++	+++	Aragadvay-Yungán et al. (2021) Rodríguez & Ledesma (2014)
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A. Howard	ND	0,39	ND	++	-	Aragadvay-Yungán et al. (2021) Riascos-Vallejos et al. (2020)
<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski	ND	0,27	ND	++	+	Riascos-Vallejos et al. (2020)
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	37,98	ND	ND	ND	+	Galindo et al. (2014)
	ND	0,91	ND	++	-	Ojeda et al. (2018)
	34,06	0,47	0,91	+++	+	Pérez-Can et al. (2020)

+++ presencia abundante/high presence ++ presencia moderada/moderate presence + presencia baja – ausente/low presence – absence. MSP: metabolitos secundarios de las plantas/plant secondary metabolites. TC: taninos condensados/condensed tannins. SP: saponinas/saponins. ND: no determinado/undetermined.

En *C. arborea* Benth., se ha identificado la presencia de taninos (1,3 % taninos condensados y 1,9 % fenoles totales) que demuestran una posible reducción en la producción de metano *in vitro*, atribuida a estos metabolitos (1,23 mL CH₄ g MS 24 h) (Aragadvay-Yungán et al., 2021). Para *P. discolor* no se encontraron datos en la literatura sobre su efecto en la reducción de CH₄; no obstante, se ha demostrado que posee un contenido de proteína adecuado para la nutrición de rumiantes (Riascos-Vallejos et al., 2020).

La composición nutricional es un criterio útil para la selección de especies con potencial de alimentación y mitigación del CH₄ en rumiantes (Albores-Moreno et al., 2018), se puede considerar a esta especie como promisoría para el piedemonte amazónico colombiano.

Estudios *in vivo* realizados por Molina-Botero et al. (2019), demostraron que la inclusión de vainas de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y forraje de *G. sepium* en un 15 y 30 % de la materia seca de la ración, disminuyó las emisiones anuales de metano por unidad de producto, sin afectar la ingesta diaria de materia seca. Al incluir el 4 % de taninos hidrolizables y taninos condensados en la dieta de corderos, no se afectó la población de bacterias y hongos ruminales (Salami et al., 2018). Sin embargo, los mismos autores reportaron que los taninos condensados redujeron de manera significativa la abundancia de microorganismos metanogénicos.

La mayoría de los compuestos fitoquímicos presentes en las hojas de los árboles y arbustos tropicales, modulan la fermentación ruminal e inhiben la producción de metano, por lo tanto, representan una alternativa viable de mitigación de las emisiones de GEI (Barahona et al., 2003; Patra & Saxena, 2011).

El contenido de metabolitos secundarios en la ración debe contribuir a disminuir la metanogénesis, sin afectar la digestibilidad, el perfil de fermentación o la tasa de sobrepaso de materia seca en el rumen (Cardona-Iglesias et al., 2016). Además, se ha demostrado que el follaje de *E. americana* Mill. con una edad de rebrote de 60 a 120 días, presentó un contenido de taninos condensados entre 0,6 a 1,4 % que no afectó el consumo voluntario en pequeños rumiantes (Hernández-Espinoza et al., 2020).

Algunos autores aseguran que la concentración de taninos en la dieta de los rumiantes debe variar del 2 al 4 % de la MS (Otero & Hidalgo, 2004; Waghorn et al., 1999). Al incluir niveles bajos de taninos en la dieta de vacas lecheras (0,2 %) se demostró la inhibición directa de los protozoos y una consecuente disminución en la producción de CH₄ en el rumen (Cieslak et al., 2012). Se indica que una concentración de taninos condensados de 0,5 % a 3 %, tiene la capacidad de mitigar la producción de CH₄ sin afectar la digestibilidad de la MS (Saminathan et al., 2015). Concentraciones por encima del 5 % de la MS pueden afectar la palatabilidad, el consumo y reducir la eficiencia en la utilización del alimento (Mueller-Harvey, 2006; Waghorn, 2008).

Sistemas silvopastoriles con arbóreas y arbustivas del piedemonte amazónico como estrategia de adaptación al cambio climático: bienestar animal y captura de carbono

En los últimos años, la sostenibilidad de los sistemas de producción bovina ha sido cuestionada por los impactos ambientales y sociales que se le atribuyen (generación y emisión de GEI, pérdida de biodiversidad, deterioro de las fuentes de agua y degradación de los suelos). Sin embargo, la producción ganadera es una actividad indispensable e insustituible para el desarrollo de la humanidad (Naranjo-Ramírez & Ruiz-Buitrago, 2020). El manejo extensivo de los sistemas ganaderos ha contribuido a que el sector sea relacionado con el calentamiento global. No obstante, existen alternativas de manejo que permiten mitigar las emisiones y crear modelos que se adapten a los efectos adversos del cambio climático.

El silvopastoreo es un modelo de producción pecuaria en donde se asocia un componente arbóreo/arbustivo con uno herbáceo (pasturas naturales o mejoradas) y otro pecuario (ganado) en un mismo sitio, de manera que existan interacciones biológicas entre ambos con el objetivo de maximizar el uso de la tierra (Russo, 2015). De igual manera se ha demostrado que brindan otra serie de servicios como la producción de madera, frutos, sombra, regulación hídrica y térmica, hábitat de la fauna silvestre y embellecimiento del paisaje (Buitrago-Guillen et al., 2018).

Las especies forrajeras arbóreas y arbustivas presentes en los SSP brindan una serie de interacciones que permiten obtener beneficios adicionales como la regulación térmica y el mejoramiento de las variables fisiológicas-metabólicas relacionadas con el estrés calórico (Barragán-Hernández et al., 2015). Los animales manejados bajo SSP han presentado comportamientos que indican un entorno térmico confortable (Vieira et al., 2021). Además, de una interacción positiva entre los árboles y las pasturas, donde la protección de la radiación solar y del viento, reduce la evapotranspiración y en consecuencia mejora la disponibilidad de agua en el suelo (Bosi et al., 2020).

Estudios con SSP en el piedemonte amazónico, han reportado un incremento hasta del 35 % en la productividad animal por unidad de área (Rivera et al., 2015). Beneficios adicionales radican en la regulación de la temperatura, la cual puede ser de 2 a 3 °C (Murgueitio et al., 2014) inferior en comparación con las praderas sin cobertura, lo que demuestra un efecto positivo sobre el comportamiento ingestivo, el confort térmico y el bienestar animal (Parrá-Herrera et al., 2017).

En condiciones tropicales, animales en pastoreo bajo un SSP compuesto por *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst, *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs y arbustos de *L. leucocephala* en alta densidad, tuvieron una mayor disponibilidad de forraje y confort térmico, con tiempos de rumia y descanso más prolongados, mientras que en un monocultivo de *C. nlemfuensis* Vanderyst, los animales dedicaron más tiempo a buscar alimento, aún en las horas de mayor temperatura, lo que puede afectar el bienestar y el rendimiento productivo animal en un monocultivo sin presencia de árboles (Améndola et al., 2019).

Los SSP pueden ser una buena alternativa para la producción ganadera sostenible, proporcionan alimento, brindan servicios ecosistémicos y tienden a mejorar el bienestar de los animales (Améndola et al., 2015). Sin embargo, para potencializar las acciones de mitigación del cambio climático por medio de los SSP, es necesario considerar que estos son unos importantes sumideros de carbono (Contreras-Santos et al., 2020), que incrementan su absorción a través de la materia orgánica del suelo y se almacena en los componentes de la biomasa aérea (tronco, ramas, hojas) y raíces de la vegetación asociada (Blanco-Libreros et al., 2015; Hoosbeek et al., 2016).

La acumulación de carbono en la biomasa aérea de un SSP puede llegar a las 8,83 t ha⁻¹ de C, en comparación con un sistema tradicional, que logra acumular 1,88 t ha⁻¹ de C, lo cual demuestra un almacenamiento 4,6 veces superior respecto a los sistemas de manejo convencionales en el piedemonte amazónico colombiano (Villegas et al., 2021).

Estudios realizados en Nicaragua por Hoosbeek et al. (2016), para determinar la absorción de carbono en SSP con *G. ulmifolia*, demostraron que se pueden almacenar hasta 70 t ha⁻¹ de C en comparación con praderas sin árboles, donde se alcanza un stock de 45 t ha⁻¹ de C. Además, los mismos autores informaron que se mejora la disponibilidad de elementos indispensables como N y P en el suelo, gracias al aporte de hojarasca.

E. poeppigiana se ha utilizado como cultivo de sombra en asocio con producciones de café y cacao (Viguera et al., 2019). Se ha demostrado que en una densidad de 111 árboles por ha, bajo un manejo asociado al cultivo de cacao, puede capturar hasta 12,91 t ha⁻¹ de C (Vera et al., 2019).

Los SSP compuestos por *C. plectostachyus* (K. Schum.) Pilg., cercas vivas de *G. sepium* y árboles dispersos de *Diphysa robinoides* Benth., en el sureste de México, demostraron una acumulación total de 23,38 t ha⁻¹ de C (Nahed-Toral et al., 2013). En contraste, sistemas más estructurados y arreglos multiestratos con especies arbustivas, arbóreas y maderables han registrado un almacén de carbono con valores entre 60,6 y 65,1 t ha⁻¹, lo cual superó entre 58 % y 69 % el stock de carbono (38,3 t ha⁻¹) registrado en la pradera de monocultivo (Contreras-Santos et al., 2020), lo que evidencia el potencial de los SSP en la captura de carbono y mitigación de los GEI.

La implementación de SSP, en suelos poco productivos de la región amazónica puede constituirse en una alternativa para aumentar las reservas de carbono orgánico a una profundidad de 20-30 cm (Olaya-Montes et al., 2021). Este efecto estaría mediado por la inclusión de especies arbóreas y arbustivas que puede ser una alternativa prometedora para convertir el suelo en un importante sumidero de carbono en las regiones tropicales. Sin embargo, hace falta información de especies promisorias, con potencial nutricional como *P. discolor* y *C. fairchildiana* como

estrategia para reducir las emisiones de CH₄ entérico e incrementar la absorción de carbono y de esta manera, facilitar la adaptación de los sistemas ganaderos a los efectos del cambio climático.

Conclusiones

Especies forrajeras como *E. poeppigiana*, *C. fairchildiana*, *P. discolor* y *G. ulmifolia*, tienen la capacidad de adaptarse a suelos de baja fertilidad y zonas con alta variación climática. Estas especies podrían representar una alternativa factible de uso como fuente de alimento o para aprovechar los beneficios ecosistémicos de su incorporación en las praderas de monocultivos. La valoración agronómica puede servir como base para emitir recomendaciones de implementación e inclusión en arreglos silvopastoriles, que permitan aprovechar la biomasa forrajera para consumo directo, en sistemas de corte y acarreo o como suplemento en ensilajes, sin dejar a un lado el potencial de absorción de carbono que han demostrado estas especies y así convertir los sistemas ganaderos del piedemonte amazónico en sumideros que mitiguen y se adapten de manera eficiente a los efectos del cambio climático.

Se considera pertinente realizar estudios *in vitro* – *in vivo* de la producción de metano a fin de analizar las interacciones entre el contenido de metabolitos secundarios y la composición nutricional, ya que en los reportes consultados se evidencia un elevado aporte de nutrientes y aceptable perfil fitoquímico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Antioquía, al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, Programa de Becas de Excelencia Doctoral del Bicentenario - Corte II, Convenio Beca Doctoral No. 20230030-20-21, al Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA Regional Putumayo y al Grupo de Investigación GRICA - Línea de Sistemas Sostenibles de Producción Animal.

Referencias

- Albores-Moreno, S., Alayón-Gamboa, J. A., Miranda-Romero, L. A., Jiménez-Ferrer, G., Ku-Vera, J. C., & Vargas-Villamil, L. (2018). Nutritional composition, *in vitro* degradation and potential fermentation of tree species grazed by ruminants in secondary vegetation (Acahual) of deciduous forest. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 28(5), 1263–1275.
- Alvarez-Brito, R., Rojas-Bourrillon, A., & López-Herrera, M. (2020). Efecto del guineo cuadrado sobre la proteína cruda, almidón, fibra y fermentación ruminal de ensilados de leguminosas. *Nutrición Animal Tropical*, 14(2), 131–155. <https://doi.org/10.15517/nat.v14i2.44684>
- Alvear, C. M., Melo, W. M., Guerrero, J. A., Ceron, A. G., & Santacruz, E. I. (2013). Especies arbóreas y arbustivas con potencial silvopastoril en la zona de bosque muy seco tropical del norte de Nariño y sur del Cauca. *Revista Agroforestería Neotropical*, (3). <https://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/320>
- Améndola, L., Solorio, F. J., Ku-Vera, J. C., Améndola-Massioti, R. D., Zarza, H., Mancera, K. F., & Galindo, F. (2019). A pilot study on the foraging behaviour of heifers in intensive silvopastoral and monoculture systems in the tropics. *Animal*, 13(3), 606–616. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001532>
- Améndola, L., Solorio, F. J., Ku-Vera, J. C., Améndola-Massioti, R. D., Zarza, H., & Galindo, F. (2015). Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. *Animal*, 10(5), 863–867. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002475>

- Aragadvay-Yungán, R. G., Barros-Rodríguez, M., Ortiz, L., Carro, M. D., Navarro Marcos, C., Elghandour, M. M. M. Y., & Salem, A. Z. M. (2021). Mitigation of ruminal methane production with enhancing the fermentation by supplementation of different tropical forage legumes. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3438–3445. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15749-7>
- Arango, J., Ruden, A., Martínez-Baron, D., Loboguerrero, A. M., Berndt, A., Chacón, M., Torres, C. F., Oyhantcabal, W., Gomez, C. A., Ricci, P., Ku-Vera, J., Burkart, S., Moorby, J. M., & Chirinda, N. (2020). Ambition meets reality: achieving GHG emission reduction targets in the livestock sector of Latin America. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 65. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00065>
- Araujo Pereira, G., Peixoto Araujo, N. M., Arruda, H. S., Farias, D. de P., Molina, G., & Pastore, G. M. (2019). Phytochemicals and biological activities of mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam.): A review. *Food Research International*, 126, Article 108713. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108713>
- Archimède, H., Martin, C., Periacarpin, F., Rochette, Y., Silou Etienne, T., Anais, C., & Doreau, M. (2014). Methane emission of Blackbelly rams consuming whole sugarcane forage compared with *Dichanthium* sp. hay. *Animal Feed Science and Technology*, 190, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.004>
- Barahona, R., Lascano, C. E., Narvaez, N., Owen, E., Morris, P., & Theodorou, M. K. (2003). *In vitro* degradability of mature and immature leaves of tropical forage legumes differing in condensed tannin and non-starch polysaccharide content and composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(12), 1256–1266. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1534>
- Barahona, R., & Sanchez, S. (2005). Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales. *Revista Corpoica*, 6(1), 69–82. https://doi.org/10.21930/rcta.vol6_num1_art:39
- Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L., & Cajas-Girón, Y. S. (2015). Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 211–223. <https://doi.org/10.15517/AM.V26I2.19277>
- Benitez, E., Chamba, H., Sánchez, E., Parra, S., Ochoa, D., Sanchez, J., & Guerrero, R. (2017). Caracterización de pastos naturalizados de la Región Sur Amazónica Ecuatoriana : potenciales para la alimentación animal. *Bosques Latitud Cero*, 7(2), 83–97. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/323>
- Bianco, L., & Cenzano, A. M. (2018). Leguminosas nativas: estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. *Idesia (Arica)*, 36(4), 71–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005002601>
- Blanco-Libreros, J., F, Ortiz-Acevedo, L., F., & Urrego, L., E. (2015). Reservorios de biomasa aérea y de carbono en los manglares del golfo de Urabá (Caribe colombiano). *Actualidades Biológicas*, 37(103), 131–141. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v37n103a02>
- Bodas, R., Prieto, N., García-González, R., Andrés, S., Giráldez, F. J., & López, S. (2012). Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>
- Bosi, C., Pezzopane, J. R. M., & Sentelhas, P. C. (2020). Silvopastoral system with eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 92(suppl. 1), Article e20180425. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020180425>

- Botero, R., & Russo, R. (1999). Utilización de arboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. In M. D. Sánchez, & M. Rosales Méndez (Eds.), *Agroforestería para la producción animal en América Latina* (pp. 171–192). Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/x1213s/x1213s.pdf>
- Brando, P., Macedo, M., Silvério, D., Rattis, L., Paolucci, L., Alencar, A., Coe, M., & Amorim, C. (2020). Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 268, Article 151609. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151609>
- Buitrago-Guillen, M. E., Ospina-Daza, L. A., & Narváez-Solarte, W. (2018). Silvopastoral systems: An alternative in the mitigation and adaptation of bovine production to climate change. *Boletín Científico del Centro de Museos*, 22(1), 31–42. <https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.2>
- Cabrera-Núñez, A., Lammoglia-Villagomez, M., Alarcón-Pulido, S., Martínez-Sánchez, C., Rojas-Ronquillo, R., & Velázquez-Jiménez, S. (2019). Árboles y arbustos forrajeros utilizados para la alimentación de ganado bovino en el norte de Veracruz, México. *Abanico veterinario*, 9, Article 913. <https://doi.org/10.21929/abavet2019.913>
- Cardona-Iglesias, J. L., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2016). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 273–288. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>
- Castañeda-Álvarez, N., Álvarez, F., Arango, J., Chanchy, L., García, G. F., Sánchez, V., Solarte, A., Sotelo, M., & Zapata, C. (2016). *Especies vegetales útiles para sistemas silvopastoriles del Caquetá, Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://hdl.handle.net/10568/81159>
- Cherubin, M. R., Chavarro-Bermeo, J. P., & Silva-Olaya, A. M. (2018). Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(5), 1741–1753. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0282-y>
- Cieslak, A., Zmora, P., Pers-Kamezcyc, E., & Szumacher-Strabel, M. (2012). Effects of tannins source (*Vaccinium vitis idaea* L.) on rumen microbial fermentation in vivo. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1–4), 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.012>
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Cadena-Torres, J., & Fallas-Guzmán, C. K. (2020). Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe Colombiano. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 29–41. <https://doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2015). *Acuerdo de París*. Naciones Unidas. <https://doi.org/10.16925/co.v25i111.1874>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2021). *AlimenTro: composición química y valor nutricional*. <https://alimentro.agrosavia.co/Estadisticas/ReporteAnalisis>
- Cuesta Muñoz, P. A., & Gómez Mesa, J. E. (2002). *Renovación y manejo de praderas del Piedemonte Amazónico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/16504>
- Durmic, Z., Moate, P. J., Eckard, R., Revell, D. K., Williams, R., & Vercoe, P. E. (2014). In vitro screening of selected feed additives, plant essential oils and plant extracts for rumen methane mitigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1191–1196. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6396>

- Enciso, K., Bravo, A., Charry, A., Rosas, G., Jager, M., Hurtado, J. J., Romero, M., Sierra, L., Quintero, M., & Burkart, S. (2018). *Estrategia sectorial de la cadena de ganadería doble propósito en Caquetá, con enfoque agroambiental y cero deforestación*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://hdl.handle.net/10568/91981>
- Espeche, M. L., García, M. E., & Reyes, N. J. (2020). Estudio palinológico preliminar en especies de *Erythrina* (Fabaceae) presentes en Argentina. *Lilloa*, 57(2), 144–155. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2020.57.2/5>
- Forero, A., Pardo, Y., & Andrade, M. (2016, octubre). *Valoración económica de las coberturas boscosas en sistemas productivos en San Vicente del Caguán* [Presentación]. Seminario Internacional de Investigación, Innovación y Competitividad, Una estrategia de desarrollo agroindustrial en Territorio de Paz. Universidad de Amazonia, Florencia, Caquetá.
- Galindo, J., González, N., Marrero, Y., Sosa, A., Ruiz, T., Febles, G., Torres, V., Aldana, A. I., Achang, G., Moreira, O., & Sarduy, L. (2014). Efecto del follaje de plantas tropicales en el control de la producción de metano y la población de protozoos ruminales *in vitro*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 359–364.
- Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 213–222. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>
- Gómez Fuentes Galindo, T., González Rebeles, C., López Ortiz, S., Ku Vera, J. C., Albor Pinto, C. D. J., & Sangines García, J. R. (2017). Dominancia, composición química-nutritiva de especies forrajeras y fitomasa potencial en una selva secundaria. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 14(4), 617–634. <https://doi.org/10.22231/asyd.v14i4.699>
- Guarnizo, T. M. Y., Moreno, C., & Barrera G. J. A. (2020). *Análisis técnico de sostenibilidad y producción ganadera en la Amazonia colombiana - caso Guaviare, Caquetá y Putumayo*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://n9.cl/imdn0>
- Hernández-Espinoza, D. F., Lagunes-Espinoza, L. del C., López-Herrera, M. A., Ramos-Juárez, J. A., González-Garduño, R., & Oliva-Hernández, J. (2020). Edad de rebrote de *Erythrina americana* Miller y concentración de compuestos fenólicos en el follaje. *Madera y Bosques*, 26(1), Article e2611826. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611826>
- Hernández Benalcázar, H., Gagnon, D., & Davidson, R. (2015). Crecimiento y producción inicial de 15 especies de árboles tropicales de la Amazonía ecuatoriana de estados sucesionales diferentes. *Siembra*, 2(1), 69–75. <https://doi.org/10.29166/siembra.v2i1.1439>
- Hoosbeek, M. R., Remme, R. P., & Rusch, G. M. (2016). Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. *Agroforestry Systems*, 92(2), 263–273. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0049-2>
- Hristov, A. N., Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Oh, J., Waghorn, G., Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P. S., & Dijkstra, J. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>
- Hurtado Ducuara, E. A., & Guayara Suárez, Á. (2013). Potencial de uso de *Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski en sistemas silvopastoriles. *Ingenierías & Amazonia*, 6(1), 23–30.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Metodología de la operación estadística variables meteorológicas*. <https://n9.cl/2cew>

- Ibrahim, M., Villanueva, C., & Mora, J. (2004). Traditional and improved silvopastoral systems and their importance in sustainability of livestock farms. In M. R. Mosquera-Losada, & A. Rigueiro-Rodríguez (Eds.), *Proceedings of an International Congress on Silvopastoralism and Sustainable Management held in Lugo, Spain* (pp. 13–18). CABI Publishing.
- Jaquetti, R. K., Nascimento, H. E. M., Zotarelli, L., Rathinasabapathi, B., & de Carvalho Gonçalves, J. F. (2021). Coordinated adjustments of carbohydrates and growth of tree legumes under different fertilization regimes in degraded areas in Amazonia. *New Forests*, *53*(2), 221–240. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09853-2>
- Ku-Vera, J. C., Ayala-Burgos, A. J., Solorio-Sánchez, F. J., Briceño-Poot, E. G., Ruiz-González, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., Barros-Rodríguez, M., Soto-Aguilar, A., Espinoza-Hernandez, J. C., Albores-Moreno, S., Chay-Canul, A. J., Aguilar-Pérez, C. F., & Ramírez-Avilés, L. (2013). Tropical tree foliage and shrubs as feed additives in ruminant rations. In A. F. Z. M. Salem (Ed.), *Nutritional strategies of animal feed additives* (pp. 59–76). NOVA Science Publishers.
- Landínez-Torres, Á. Y. (2017). Uso y manejo del suelo en la amazonía colombiana. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, *12*(2), 151–163. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.2.6>
- Matulevich Pelaez, J. A., & Garcia Rodríguez, J. (2016). Composición Química del Aceite Esencial de Hojas de *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae). *Scientia et Technica*, *21*(3), 269–272. <https://doi.org/10.22517/23447214.13061>
- Meza, G. A., Loor, N. J., Sánchez, A. R., Avellaneda, J. H., Meza, C. J., Vera, D. F., & Cabanilla, M. G. (2014). Inclusión de harinas de follajes arbóreos y arbustivos tropicales (*Morus alba*, *Erythrina poeppigiana*, *Tithonia diversifolia* e *Hibiscus rosa-sinensis*) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus* Linnaeus). *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, *61*(3), 258–269. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v61n3.46874>
- Molina-Botero, I. C., Arroyave-Jaramillo, J., Valencia-Salazar, S., Barahona-Rosales, R., Aguilar-Pérez, C. F., Ayala Burgos, A., Arango, J., & Ku-Vera, J. C. (2019). Effects of tannins and saponins contained in foliage of *Gliricidia sepium* and pods of *Enterolobium cyclocarpum* on fermentation, methane emissions and rumen microbial population in crossbred heifers. *Animal Feed Science and Technology*, *251*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.011>
- Mora-Marín, M. A., Ríos-Pescador, L., Ríos-Ramos, L., & Almario-Charry, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*, *17*, 1–12. <https://doi.org/10.25054/22161325.1212>
- Murcia García, U. G., Cardona Vanegas, G. I., Alonso, J. C., Salazar Cardona, C. A., Acosta, L. E., Dairon Cárdenas, B. G., Hernández, M. S., Rodríguez, C. H., Zubieta, M. (2007). *Balance anual sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia colombiana*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. <https://n9.cl/z5u8>
- Mueller-Harvey, I. (2006). Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*(13), 2010–2037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2577>
- 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*(10), 1654–1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- 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. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v17i3.1558>
- Murgueitio, E., Galindo, W. F., Chará, J. D., & Uribe, F. (2016). *Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastoriles Intensivos con Leucaena*. Editorial CIPAV.

- Nahed-Toral, J., Valdivieso-Pérez, A., Aguilar-Jiménez, R., Cámara-Cordova, J., & Grande-Cano, D. (2013). Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: A prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 57, 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.020>
- Naranjo-Ramírez, J. F., & Ruiz-Buitrago, J. D. (2020). Sobre algunos mitos y realidades de la ganadería bovina. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), Artículo e1524. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1524
- Narváez, N., & Lascano, C. (2004). Caracterización química de especies arbóreas tropicales con potencial forrajero en Colombia. *Pasturas Tropicales*, 26(3), 1–8. https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/2004-vol26-rev1-2-3/Vol_26_rev3_04_Completa.pdf#page=66
- Navas-Panadero, A., & Ríos de Álvarez, L. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207–230. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol20num2art:1457>
- Ojeda, A., Obispo, N., Gil, J. L., & Matute, I. (2018). Perfil cualitativo de metabolitos secundarios en la fracción comestible de especies leñosas seleccionadas por vacunos en un bosque semicaducifolio. *Pastos y Forrajes*, 38(1), 64–72.
- Olaya López, D. F. (2022). La Amazonía colombiana como sujeto de derechos. Un caso de justicia ambiental. *Revista IUS*, 16(49), 223–251. <https://doi.org/10.35487/rius.v16i49.2022.719>
- Olaya-Montes, A., Llanos-Cabrera, M. P., Cherubin, M. R., Herrera-Valencia, W., Ortiz-Morea, F. A., & Silva-Olaya, A. M. (2021). Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region. *Land Degradation and Development*, 32(13), 3720–3730. <https://doi.org/10.1002/ldr.3832>
- Ortiz, D. M., Posada, S. L., & Noguera, R. R. (2014). Effect of plant secondary metabolites on methane enteric emission in ruminants. *Livestock Research for Rural Development*, 26(11), 1–11. <http://www.lrrd.org/lrrd26/11/orti26211.html>
- Otero, M. J., & Hidalgo, L. G. (2004). Taninos condensados en especies forrajeras de clima templado: Efectos sobre la productividad de rumiantes afectados por parasitosis gastrointestinales (una revisión). *Livestock Research for Rural Development*, 16(13), 1–9. <http://www.lrrd.org/lrrd16/2/oter1602.htm>
- Padilla Gil, D. N. (2019). Diversidad del género *Rhagovelia* (Hemiptera: Heteroptera: Veliidae) del Piedemonte Andino-Amazónico (Putumayo, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 24(1), 174–179. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.66352>
- Pardo Roza, Y. Y., Muñoz Ramos, J., & Velasquez Restrepo, J. E. (2020). Tipificación de sistemas agropecuarios en el piedemonte amazónico colombiano. *Espacios*, 41(47), 213–228. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n47p16>
- Parra-Herrera, J., P., Estrada-Cely, G., E., & Cedeño-Torres, J., A. (2017). Estudio del comportamiento en bovinos doble propósito en producción lechera en la Amazonía Colombiana. *Revista Facultad Ciencias Agropecuarias*, 9(1), 32–36. <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec/article/view/350>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2009a). Dietary phytochemicals as rumen modifiers: A review of the effects on microbial populations. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 96(4), 363–375. <https://doi.org/10.1007/s10482-009-9364-1>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2009b). The effect and mode of action of saponins on the microbial populations and fermentation in the rumen and ruminant production. *Nutrition Research Reviews*, 22(2), 204–219. <https://doi.org/10.1017/s0954422409990163>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 24–37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>

- Pedrozo, A., Girelli de Oliveira, N. J., & Alberton, O. (2018). Biological nitrogen fixation and agronomic features of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) crop under different doses of inoculant. *Acta Agronómica*, 67(2), 297–302. <https://doi.org/10.15446/acag.v67n2.56375>
- Pérez-Almario, N., Ibrahim, M., Villanueva, C., Skarpe, C., & Guerin, H. (2013). Diversidad forrajera tropical 1. Selección y uso de leñosas forrajeras en sistemas de alimentación ganadera para zonas secas de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*, 50, 37–43.
- Pérez-Can, G. E., Tzec-Gamboa, M., Albores-Moreno, S., Sanginés-García, J., Aguilar-Urquizo, E., Chay-Canul, A., Canul-Solis, J., Muñoz-Gonzalez, J., Diaz-Echeverria, V., & Piñeiro-Vázquez, A. T. (2020). Degradabilidad y producción de metano *in vitro* del follaje de árboles y arbustos con potencial en la nutrición de rumiantes. *Acta Universitaria*, 30, 1–13. <https://doi.org/10.15174/au.2020.2840>
- Pinto-Ruiz, R., Hernández, D., Gómez, H., Cobos, M. A., Quiroga, R., & Pezo, D. (2010). Árboles forrajeros de tres regiones ganaderas de Chiapas, México: Usos y características nutricionales. *Universidad y Ciencia*, 26(1), 19–31.
- Piñeiro-Vázquez, A. T., Canul-Solis, J. R., Casanova-Lugo, F., Chay-Canul, A. J., Ayala-Burgos, A. J., Solorio-Sánchez, F. J., Aguilar-Pérez, C. F., & Ku-Vera, J. C. (2017). Emisión de metano en ovinos alimentados con *Pennisetum purpureum* y árboles que contienen taninos condensados. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(2), 111–119. <https://doi.org/10.22319/4401>
- Ramakrishna, A., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11), 1720–1731. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17613>
- Riascos-Vallejos, A. R., Reyes-González, J. J., & Aguirre-Mendoza, L. A. (2020). Nutritional characterization of trees from the Amazonian piedmont, Putumayo department, Colombia. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(2), 1–9. <http://www.cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/951/1032>
- Riascos-Vallejos, A. R., Galindo, J. L., Herrera, M., Medina, Y., & Narváez-Herrera, J., P. (2021). Selección nutritiva de forrajeras locales del pie de monte amazónico, Departamento del Putumayo, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 33, Article 21. <http://www.lrrd.org/lrrd33/2/jupan3321.html>
- Rivera, J. E., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Tafur, O., Hurtado, E. A., Arenas, F. A., Chará, J., & Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico Colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 27(10), 1–13. <http://www.lrrd.org/lrrd27/10/rive27189.html>
- Rodríguez, A. A., & Ledesma, Y. R. (2014). Determinación cualitativa de factores antinutricionales en las especies, *Erithryna poeppigiana* (Walp. O. F), *Trichanthera gigantea* (H & B), *Morus alba* Lin, en la época de lluvia y seca. *InfoCiencia*, 18(3), 1–12.
- Rodríguez Fernández, G., & Fandiño, B. R. (2013). Forage production and growing goats' response under silvopastoral systems based on *Guazuma ulmifolia*, *Leucaena leucocephala* and *Crescentia cujete*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 14(1), 77–89. https://doi.org/10.21930/rcta.vol14_num1_art:345
- Rojas-Rodríguez, F., & Torres-Córdoba, G. (2019). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción del Guácimo ternero (*Guazuma ulmifolia* Lam.). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 16(39), 61–63. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v16i39.4431>
- Russo, R. O. (2015). Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 157–161. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1832>

- Salami, S. A., Valenti, B., Bella, M., O'Grady, M. N., Luciano, G., Kerry, J. P., Jones, E., Priolo, A., & Newbold, C. J. (2018). Characterisation of the ruminal fermentation and microbiome in lambs supplemented with hydrolysable and condensed tannins. *FEMS Microbiology Ecology*, *94*(5), 1–13. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiy061>
- Saltos, R. A., Ruiz, E., Tuqueres, J. A. V., Calle, M. F. H., Malaver, J. V., Reyes, Á., & Vargas, J. K. A. (2015). Especies vegetales utilizadas en la alimentación animal en los cantones Mera, Santa Clara y Pastaza en la provincia de Pastaza, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, *49*(3), 415–423.
- Saminathan, M., Sieo, C. C., Abdullah, N., Wong, C. M. V. L., & Ho, Y. W. (2015). Effects of condensed tannin fractions of different molecular weights from a *Leucaena leucocephala* hybrid on *in vitro* methane production and rumen fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *95*(13), 2742–2749. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7016>
- Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, *30*(12), 3875–3883. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83426-L](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83426-L)
- Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A. N., Kumar, S., & Clay, S. (2021). Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security – A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, *5*, Article 100190. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>
- Smith, A. H., Zoetendal, E., & Mackie, R. I. (2005). Bacterial mechanisms to overcome inhibitory effects of dietary tannins. *Microbial Ecology*, *50*(2), 197–205. <https://doi.org/10.1007/s00248-004-0180-x>
- Sotelo, M., Suárez Salazar, J. C., Álvarez Carrillo, F., Castro Nuñez, A., Calderón Soto, V. H., & Arango, J. (2017). *Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable?*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. <https://hdl.handle.net/10568/89088>
- Suárez, J. C., Ramírez, B. L., & Velásquez, J. E. (2006). Producción de biomasa y valor nutritivo de bancos de proteína establecidos con especies forrajeras para corte y acarreo en el Piedemonte amazónico. *Pasturas Tropicales*, *28*(1), 57–61.
- Suárez, J. C., Ramírez, B. L., & Velásquez, J. E. (2008). Comportamiento agronómico de cinco especies forrajeras bajo el sistema de corte y acarreo en suelos de terraza y mesón en el piedemonte amazónico colombiano. *Zootecnia Tropical*, *26*(3), 347–350.
- Suárez Salazar, J. C., Carulla, J. E., & Velásquez, J. E. (2008). Composición química y digestibilidad *in vitro* de algunas especies arbóreas establecidas en el piedemonte Amazónico. *Zootecnia Tropical*, *26*(3), 231–234.
- Torrijos, R., Beltrán, Y., & Eslava, F. (2017). *Nueva ganadería del Caquetá en cifras 2016*. Comité Departamental de Ganaderos del Caquetá. https://issuu.com/rafaeltorrijos/docs/contexto_ganadero_2017
- Vale-Montilla, C. (2019). Efecto de hormonas vegetales en la germinación de semillas de Sombrero (*Clitoria fairchildiana* RA Howard). *Revista Academia*, *18*(42), 49–63.
- Valencia-Salazar, S. S., Jiménez-Ferrer, G., Arango, J., Molina-Botero, I., Chirinda, N., Piñeiro-Vázquez, A., Jiménez-Ocampo, R., Nahed-Toral, J., & Kú-Vera, J. (2021). Enteric methane mitigation and fermentation kinetics of forage species from Southern Mexico: *in vitro* screening. *Agroforestry Systems*, *95*(2), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00585-4>
- Valencia Salazar, S. S., Piñeiro Vázquez, A. T., Molina Botero, I. C., Lazos Balbuena, F. J., Uuh Narváez, J. J., Segura Campos, M. R., Ramírez Avilés, L., Solorio Sánchez, F. J., & Ku Vera, J. C. (2018). Potential of Samanea saman pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical grass. *Agricultural and Forest Meteorology*, *258*, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.262>

- Vargas, A., & Quintero, D. (2017). *Evaluación de bancos forrajeros de Guácimo (Guazuma ulmifolia) en el Piedemonte Llanero colombiano*. Universidad de La Salle. <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/330>
- Vargas Burgos, J. C., Cholota Goya, M., Álvarez, A., García Quintana, Y., Arteaga Crespo, Y., Cevallos Vallejos, M., & Rojas Ledesma, L. (2015). Comportamiento productivo de tres especies arbustivas forrajeras en la unidad experimental “La María”, Quevedo, Ecuador. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(12), 1–9.
- Vasta, V., Daghighi, M., Cappucci, A., Buccioni, A., Serra, A., Viti, C., & Mele, M. (2019). Invited review: Plant polyphenols and rumen microbiota responsible for fatty acid biohydrogenation, fiber digestion, and methane emission: Experimental evidence and methodological approaches. *Journal of Dairy Science*, 102(5), 3781–3804. <http://doi.org/10.3168/jds.2018-14985>
- Velásquez, J. E., & Muñoz Ramos, J. (2006). Producción de forraje de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II solo y asociado con *Arachis pintoi* en suelos de terraza y mesón en el Piedemonte amazónico colombiano. *Pasturas Tropicales*, 28(2), 8–17.
- Vera, A. P., Congo, C. D., Paredes, N. J., Subía, C. R., & Caicedo, C. E. (2019, julio 10-11). Almacenamiento de carbono arbóreo de *Erythrina poeppigiana* en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). En C. Caicedo, A. Díaz (Eds.), *Memorias del Primer Simposio Internacional Innovaciones Tecnológicas para Fortalecer la Cadena de Cacao en la Amazonía Ecuatoriana* (pp. 15–18). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5560>
- Vieira, F. M. C., Pilatti, J. A., Czekoski, Z. M. W., Fonsêca, V. F. C., Herbut, P., Angrecka, S., de Souza Vismara, E., de Paulo Macedo, V., Dos Santos, M. C. R., & Paśmionka, I. (2021). Effect of the silvopastoral system on the thermal comfort of lambs in a subtropical climate: A preliminary study. *Agriculture*, 11(8), Article 790. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080790>
- Viguera, B., Alpízar, F., Harvey, C. A., Ruth Martínez-Rodríguez, M., & Saborío-Rodríguez, M. (2019). Percepciones de cambio climático y respuestas adaptativas de caficultores costarricenses de pequeña escala. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 333–351. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.32905>
- Villegas, G., Rivera, J. E., Chará, J., Romero, M., & Verchot, L. (2021, noviembre 3-5). Determinación del stock de carbono en sistemas ganaderos silvopastoriles y tradicionales en el piedemonte Amazónico colombiano. En J. Rivera, L. Colcombet, R. Santos-Gally, E. Murgueitio, M. Díaz, R. Martins Mauricio, P. Peri, & J. Chará (Eds.), *XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles y I Congreso de La Red Global de Sistemas Silvopastoriles*. México. (pp. 469–479). <https://n9.cl/az0xv>
- Waghorn, G. (2008). Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—progress and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 147(1–3), 116–139. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.09.013>
- Waghorn, G. C., Reed, J. D., & Ndlovu, L. R. (1999). Condensed tannins and herbivore nutrition. In J. G. Buchanan-Smith, L. D. Bailey, & P. McCaughey (Eds.), *Proceedings of the XVIII International Grasslands Congress* (pp. 153–156). Association Management Centre.
- Wallace, R. J. (2004). Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of the Nutrition Society*, 63(4), 621–629. <https://doi.org/10.1079/pns2004393>