



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Acacia negra y sus potencialidades como alimento para rumiantes

Black acacia and its potential as feed for ruminants

¹Luis Miguel Vargas Ortiz^{1,2}, ³Marcos Barros Rodríguez³, ⁴Verónica Cristina Andrade Yucailla³,
⁴Cecil Eduardo Aguirre Casco¹, ⁴Raciel Lima Orozco^{4*}

¹Departamento de Producción Animal, Instituto Superior Tecnológico Pelileo Campus Benjamín Araujo, Av. Manuel Zapater y Eloy Alfaro, Patate, Tungurahua 180404, Ecuador

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Sector el Tambo-La Universidad, vía a Quero, Cevallos 1801334, Ecuador

³Centro de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Avda. principal La Libertad - Santa Elena, La Libertad, Santa Elena 240204, Ecuador

⁴Centro de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, carretera a Camajuani km 5½, Santa Clara 54830, Villa Clara, Cuba

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 03/04/2022

Aceptado: 11/05/2022

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses

CORRESPONDENCIA

Raciel Lima Orozco
raciello@uclv.edu.cu



Cu-ID: <https://cu-id.com/2153/cag083222376>

RESUMEN

Acacia es el género más amplio de plantas con flores de Australia, está presente en todos los hábitats terrestres. La *Acacia* negra (*Acacia mearnsii* De Wild) se adapta a diferentes zonas geográficas del mundo. Su forraje puede ser utilizado en la alimentación de rumiantes empleando diferentes alternativas (heno, ensilaje, silvopastoreo, banco de proteína, harinas o forraje fresco) para reducir costos de la ganadería a baja y mediana escala. El presente trabajo es una revisión descriptivo-analítica de la literatura científica disponible con el propósito de contribuir a la actualización sobre las potencialidades como alimento para rumiantes de la *Acacia* negra. La metodología consistió en la recopilación de artículos científicos y publicaciones de instituciones científicas, académicas y tecnológicas sobre el objeto de estudio. Los resultados se concentraron en: Origen y distribución, Taxonomía y características de la planta, Características del cultivo, Producción forrajera, Valor nutritivo y Efectos del consumo de forraje en rumiantes. De la revisión se concluye que *A. mearnsii* se adapta a diversos ecosistemas y en condiciones de bajos insumos muestra un rápido crecimiento y aceptable producción forrajera que, unido a su contenido proteico, la convierten en una opción para pequeños y medianos productores. Esto permite bajar los costos de producción por reducción de consumo de concentrados o de alfalfa (*Medicago sativa* L.), sin afectar los rendimientos productivos debido, fundamentalmente, a sus altos contenidos en taninos (principal metabolito secundario) que favorecen el flujo de aminoácidos procedente de la dieta desde el rumen hasta el duodeno entre otros efectos benéficos sobre la salud y reproducción animal.

Palabras clave: *Acacia mearnsii*, forraje, proteína pasante, taninos

ABSTRACT

Acacia is the largest genus of flowering plants in Australia, occurring in all terrestrial habitats. Black acacia (*Acacia mearnsii* De Wild) is adapted to different geographical areas of the world. Its forage can be used in the feeding of ruminants

using different alternatives (hay, silage, silvopasture, protein bank, meal or fresh forage) to reduce costs of low and medium-scale livestock farming. The present work is a descriptive-analytical review of the available scientific literature with the purpose of contributing to the update on the potential of *Acacia negra* as feed for ruminants. The methodology consisted in the compilation of scientific articles and publications of scientific, academic and technological institutions on the object of study. The results focused on: Origin and distribution, Taxonomy and plant characteristics, Crop characteristics, Forage production, Nutritive value and Effects of forage consumption in ruminants. The review concluded that *A. mearnsii* adapts to diverse ecosystems and under low-input conditions shows rapid growth and acceptable forage production, which, together with its protein content, make it an option for small and medium producers. This allows lowering production costs by reducing the consumption of concentrates or alfalfa (*Medicago sativa* L.), without affecting production yields, mainly due to its high tannin content (main secondary metabolite), which favors the flow of amino acids from the diet from the rumen to the duodenum, among other beneficial effects on animal health and reproduction.

Keywords: *Acacia mearnsii*, forage, protein passivation, tannins

INTRODUCCIÓN

El género *Acacia* Mill (Fabaceae) es considerado el más grande de plantas con flores de Australia. Está presente en todos los hábitats terrestres, desde selvas tropicales hasta comunidades alpinas; ha sido reportada en varias partes del mundo como una especie arbórea invasora (ABRS/CSIRO, 2001). La *Acacia negra* (*Acacia mearnsii* De Wild) tiene un interesante potencial ya que se adapta a diferentes zonas geográficas. Esta especie ha sido introducida en América del Norte y del Sur, en Asia, en Europa, en África y en Nueva Zelanda, en distintas condiciones agroproductivas (ABRS/CSIRO, 2001; Pinilla Suárez *et al.*, 2018; CABI, 2022).

El árbol de *Acacia negra* es utilizado como forraje para animales de producción lechera, debido a su alto valor nutricional. Puede utilizarse como banco de proteína y en la alimentación de rumiantes (Fernández *et al.*, 2016). Existen diferentes alternativas de alimentación para mejorar la ganadería a baja y mediana escala mediante el empleo de esta especie.

En la actualidad, debido a la alta demanda de carne y leche, se implementan nuevas alternativas de alimentación para rumiantes con métodos que mejoren el medio ambiente y reduzcan los costos de producción (Fernández *et al.*, 2016; Reed *et al.*, 2017). En aquellos sistemas ganaderos donde las concentraciones de proteína cruda que requiere un animal no se satisfacen, se afecta el rendimiento animal. Este fenómeno se agrava cuando se excede la oferta de alimentos fibrosos carentes de compuestos nitrogenados y carbohidratos de fácil fermentación (Ariza Nieto *et al.*, 2020).

Por su alto contenido proteico, el empleo de forraje procedente de plantas arbóreas se ha incrementado en las dietas para rumiantes (tanto en especies menores como mayores), con el fin de obtener una mejor producción a costos competitivos (Cáceres y González, 2002). Sin embargo, las especiales del género *Acacia*, poseen metabolitos secundarios, especialmente taninos condensados (Ogawa y Yazaki, 2018), que han limitado su

uso por la forma en que se ha difundido el conocimiento de los efectos de los taninos en la alimentación animal.

El forraje de las especies del género *Acacia* al ser suministrada a los animales y estos al romper las células durante el proceso de masticación durante la rumia dejan libres los taninos, los que se unen a las proteínas en el rumen y por ende se reduce su degradación, favoreciendo la proteína pasante, un mecanismo protector de las proteínas en el rumen (Frutos *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2011). Una vez en el intestino (por la alcalosis del medio) pueden ser liberadas esas proteínas y aprovechados sus aminoácidos por el proceso digestivo que ocurre a ese nivel (Makkar, 2003; Frutos *et al.*, 2004). Hoy en día existe un mayor interés por el uso de los metabolitos secundarios, especialmente aquellos que poseen propiedades mejoradoras de procesos digestivos o de la salud animal en general, y conocidos como efectos nutraceuticos (O'Donovan y Brooker, 2001; Xiong *et al.*, 2016; Ahmed *et al.*, 2021).

El objetivo del presente trabajo fue contribuir a la actualización sobre las potencialidades como alimento para rumiantes de la *Acacia negra*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de la literatura científica disponible relacionada con el tema en estudio, con el propósito de contribuir a la actualización sobre las potencialidades como alimento para rumiantes de la *Acacia negra*. Se consultaron artículos de revistas indexadas en bases de datos internacionales (*i.e.* Web of Science + Scopus (23), Scielo (2), Redalyc (1), CABI (1) y Latindex (1)); además de fuentes bibliográficas (2) editadas por los centros científicos (incluido universidades) que trabajan la temática objeto de estudio. Por ser una revisión que busca brindar la mayor información posible para poner a disposición de los lectores y/o productores las potencialidades como forraje de la *Acacia negra*, la misma, se enmarcó en la producción científica en los últimos 20 años (de 2022-2018 el 43 %, de 2017-2013 el 17 %, de 2012-2008 el 17 %, de 2007-2003 el

6 % y anteriores al 2003 el 17 %), dentro del contexto mundial y ecuatoriano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Origen y distribución de *A. mearnsii*

A. mearnsii comúnmente conocida como Acacia negra es originaria del sudeste de Australia, existe gran variedad de especies de Acacia y se cultiva en varios países como Australia, Sudáfrica, Sur América, Zimbabue, Kenia, Tanzania, Brasil y China (Fernández *et al.*, 2016). Se distribuye desde el nivel del mar hasta los 900 msnm (ABRS/CSIRO, 2001; Pinilla Suárez *et al.*, 2018; CABI, 2022).

A. mearnsii es originaria de Australia, pero en Europa fueron cultivados los primeros ejemplares a inicios del siglo XIX (ABRS/CSIRO, 2001). Estas arbóreas se han empleado en los sistemas agroindustriales, al tratarse de un género con amplitud varietal, fácil distribución y múltiples usos (Pinilla Suárez *et al.*, 2018). La FAO estima que existe una superficie global plantada de 8,3 x 10⁶ ha, al ser el árbol más plantado del mundo. Asia representa el mayor número de plantaciones con un aproximado de casi 8 x 10⁶ ha y África con unas 350 000 ha (ABRS/CSIRO, 2001; CABI, 2022). En 1980 se introdujo en Ecuador semillas de *A. mearnsii* como una especie con un gran potencial para adaptarse a zonas semiáridas y la zona centro sur del país con el propósito de usarse como cortinas vegetales, madera y otros productos (Pinilla Suárez *et al.*, 2018).

Esta especie de Acacia es considerada colonizadora debido a su gran facilidad de producción de semillas de larga duración y a su resistente dispersión vegetativa a través de rizomas (ABRS/CSIRO, 2001). La Acacia negra ha sido incluida entre las 100 especies más invasoras a escala global, aunque aún no ha sido considerada invasora en España, se cultiva en diversas zonas con clima templado alrededor del mundo, fue introducida en esas zonas para ser utilizada en la obtención de taninos (ABRS/CSIRO, 2001; CABI, 2022). Se cree que en la actualidad esta especie, como otras de su género, se dispersa a través de semillas adheridas en vehículos de tránsito. En Australia, este ejemplar crece en zonas climáticas húmedas y subhúmedas, cálidas y frías con precipitaciones de 625 a 900 mm, raramente se presenta en zonas donde la temperatura excede los 38 °C y no crece sobre los 40 °C (Pinilla Suárez *et al.*, 2018).

Además, esta especie presenta moderada resistencia a las heladas, pero en zonas de baja precipitación presenta problemas de crecimiento. Se han informado áreas donde soporta hasta 40 días con heladas (Pinilla Suárez *et al.*, 2018). En Australia y Sudáfrica se plantan combinadas con eucaliptos para la producción de fibra corta (ABRS/CSIRO, 2001; CABI, 2022), en las que la Acacia negra conforma un porcentaje de la producción de pulpa de papel debido a sus

aptitudes celulósicas, incrementando así el rendimiento de los eucaliptos debido a su capacidad de fijar nitrógeno en el suelo (Pinilla Suárez *et al.*, 2018).

Taxonomía y características de *A. mearnsii*

A. mearnsii (Figura 1) es un género perteneciente a la familia Fabaceae, subfamilia Mimosoideae. Acacia perteneciente al griego *akis* que significa espinas y el término *mearnsii* en honor al Cirujano y Botánico Edgar Alexander Mearns (1856-1916) (CABI, 2022). Aunque el nombre científico es *Acacia mearnsii* también se conoce como *Acacia decurrens* var. *mollis* (Wendl.) Willd., *Acacia decurrens* var. *mollis* Lindl. (Wendl.) Willd.; *Acacia mollissima* auct. y *Racosperma mearnsii* (De Wild.) Pedley; y comúnmente se le nombra *Black Wattle*, Acacia negra, aroma negro, Acacia australiana, mimosa *vert*, *green wattle*, *tan wattle* o *hei Jing*, debido fundamentalmente a que el follaje y la corteza son de color oscuro (ABRS/CSIRO, 2001; Pinilla Suárez *et al.*, 2018; CABI, 2022).



Figura 1. Árbol taxonómico de la *Acacia mearnsii*. Foto: del autor
 Dominio: Eucariota; Reino: Planta; Filum: Tracheophyta; Subfilum: Angiosperma; Clase: Magnoliopsida; Orden: Fabales; Familia: Fabaceae; Género: *Acacia*; Especie: *mearnsii*

A. mearnsii se caracteriza por su forma similar a una bola de color oscuro que puede alcanzar una altura de 10 a 30 metros. Tiene hojas compuestas y bipinnadas. Las hojas tienen de 9 a 20 pares de ejes secundarios cada una con 15 a 70 pares de folíolos anchos redondeados, llegan a medir de 1,5 a 3 mm de largo por 0,5 a 0,75 mm de ancho (ABRS/CSIRO, 2001; Pinilla Suárez *et al.*, 2018; CABI, 2022). Los ejemplares de *A. mearnsii* que crecen solos poseen copas amplias y extendidas, tienen forma ramificada desde la base y su tronco principal es torcido. El follaje en estado adulto se torna de color verde oscuro con brotes de color amarillento. La corteza de los arbóreos en estado viejo es de color café oscuro, es dura y tiene fisuras (Pinilla Suárez *et al.*, 2018). Acacia negra es una especie de rápido crecimiento, las flores son de color amarillo casi crema, los frutos son en forma de

vainas casi rectas, miden de 5 a 15 cm de largo y 0,4 a 0,8 de ancho y maduran de 12 a 14 meses luego de la floración. La floración ocurre entre octubre y diciembre (CABI, 2022).

Pedley (1986) dividió el género *Acacia* en tres géneros: *Acacia* con 161 especies, *Senegalia* con 231 especies y *Racosperma* con 960 especies (Ogawa y Yazaki, 2018). Es una planta hermafrodita, su vector de polinización es a través de abejas o diversos insectos pequeños (CABI, 2022). Esta especie es conocida a nivel mundial como una fuente de extracción de taninos condensados, también proporciona astillas de madera que sirven para la industria de la celulosa. La madera que produce este arbóreo es también utilizada como combustible para uso doméstico. Es una de las mejores en términos de rendimiento por árbol y de calidad respecto de la composición y color de los taninos. Se caracteriza por su capacidad simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno, permitiendo la reposición de nitrógeno al suelo ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Además, contribuye a la formación de cubierta forestal por su facilidad de crecimiento y propagación. Este tipo de *Acacia* produce un extracto vegetal que se utiliza a gran escala como agente floculante y producto base en la industria farmacéutica (Ogawa y Yazaki, 2018; Pinilla Suárez *et al.*, 2018; CABI, 2022).

Agrotecnia de *A. mearnsii*

A. mearnsii por su rápido crecimiento, se adapta a condiciones ambientales variables, presenta alta tolerancia a condiciones de estrés hídrico (por déficit o exceso) y de deficiencia nutricional en los suelos. Así, puede crecer, aunque más lento, en zonas tropicales con baja pluviosidad, alta radiación solar y altas temperaturas (Reyes *et al.*, 2018; CABI, 2022). Existe poca información relacionada con sus requerimientos nutricionales en la fase de crecimiento, pero con $150 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ muestra buenos resultados de crecimiento y eficiencia (Da Silva Araújo *et al.*, 2020).

A. mearnsii se puede plantar en líneas rectas en zonas planas y en curvas de nivel en terrenos con pendiente y en cualquier tipo de suelo. Los orificios donde se ubican las plantas pueden medir 13 cm de diámetro y 20 cm de profundidad (Da Silva Araújo *et al.*, 2020). El espaciamiento entre árboles depende del uso que se quiere dar a las mismas, para usos sólidos, o para conformar sistemas mixtos como silvopastoriles y agroforestales, varían entre 2×2 y 4×4 m (Krisnawati *et al.*, 2011; Da Silva Araújo *et al.*, 2020). El desarrollo de las *Acacias* se relaciona con las condiciones ambientales del cultivo en cada zona, así lo describieron Da Silva Araújo *et al.* (2020), quienes evaluaron cultivos de *Acacia* de diferentes regiones, las que presentaron marcadas diferencias en crecimiento, principalmente en función de la temperatura. *A. mearnsii* presentó los mejores parámetros agronómicos y de adaptabilidad entre las especies estudiadas, con un 98,2 % de

Tabla 1. Valor nutritivo ($\text{g kg}^{-1} \text{ MS}^{-1}$) de *Acacia mearnsii* (Carvajal *et al.*, 2012; Ariza Nieto *et al.*, 2020)

Nutrientes	Valores
Materia seca (g kg^{-1})	369,5
Materia orgánica	911,5
Proteína cruda	173,3
Extracto etéreo	30,9
Energía bruta (Mcal kg MS^{-1})	5,12
Energía Metabolizable (Mcal kg MS^{-1})	2,12
Fibra en detergente neutro	423,9
Fibra en detergente ácido	249,2
Hemicelulosa	174,7
Lignina	48,7
Celulosa	200,5
Calcio	7,40
Fosforo	2,40
Magnesio	1,30
Taninos	76,6

supervivencia y una altura promedio de 1,47 m a los seis meses de plantada. La floración es precoz y comienza entre los 18 y 20 meses después de la plantación, sin embargo, la época de floración puede variar según la zona geográfica (ABRS/CSIRO, 2001; CABI, 2022).

Producción forrajera de *A. mearnsii*

Aunque existe poca literatura sobre la producción forrajera de *A. mearnsii*, los estudios disponibles muestran que esta depende de la densidad de siembra entre otros factores. Flórez-Ochoa *et al.* (2010) en sus estudios sobre el cultivo de *A. mearnsii* emplearon una densidad alta ($1664 \text{ plantas ha}^{-1}$), a una distancia entre *Acacias* de 0,55 m y entre surcos de 11 m, y una densidad baja de $416 \text{ plantas ha}^{-1}$, a una distancia entre *acacias* de 3 m y entre surcos de 8 m, alcanzándose una producción de forraje comestible de 1,4 y $1,0 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$, respectivamente. Mientras, Chamorro y Benavides (2018) en Ecuador obtuvieron $2,42 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ rotación}^{-1}$, en un sistema silvopastoril para la alimentación de vacas lecheras (arreglo de 4×4 m).

Valor nutritivo de *A. mearnsii*

Carvajal *et al.* (2012) informaron para la *A. mearnsii* valores de proteína cruda de $141 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}^{-1}$ y buen contenido energético, en tanto otros autores logran valores superiores (Tabla 1).

A pesar de no ser una leguminosa bien estudiada, *A. mearnsii* es una buena opción para el uso en sistemas de producción ganadera para la producción de leche. Esta especie tiene muy buena adaptación a diversos climas con un rápido crecimiento, buena producción de forraje comestible y aceptable composición química (Fernández *et al.*, 2016).

En sistemas de producción de leche con un 10 % de inclusión de *A. mearnsii* se alcanzaron 19,1 kg de leche por vaca en ordeño y fue equivalente al 96 % del tratamiento control (concentrado). Desde el punto de vista económico, la inclusión de la *A. mearnsii* en las dietas permitió un ahorro significativo por reducción de costos en la compra de balanceados comerciales, ahorrando 0,12 USD vaca⁻¹ día⁻¹ (Carvajal *et al.*, 2012). En otro estudio, al sustituir 0,9 kg de concentrado por harina de *A. mearnsii* se logró un promedio de 14,7 kg vaca⁻¹ día⁻¹, lo que evidenció la posibilidad de emplear el forraje de esta planta en sustitución de alimentos más caros como concentrado o alfalfa (*Medicago sativa* L.), y en ocasiones poco accesibles a medianos y pequeños productores (Carvajal *et al.*, 2012; Ariza Nieto *et al.*, 2020).

***A. mearnsii* y sus efectos en rumiantes**

El uso de arbustos forrajeros está limitado en muchas especies por la presencia de los metabolitos secundarios producidos por las plantas (MSP). Entre los MSP se encuentran los aminoácidos no proteicos, alcaloides, terpenos, saponinas, glucósidos cianogénicos y los compuestos fenólicos (Makkar, 2003). El consumo excesivo de *A. mearnsii* puede afectar el bienestar y salud de los herbívoros, especialmente los monogástricos debido a su alto contenido en taninos (Costa *et al.*, 2021). Los taninos, que son compuestos fenólicos (polifenoles), son sustancias conocidas por sus propiedades anti-nutricionales ya que pueden ocasionar una disminución del consumo del alimento y además una reducción de la digestibilidad de los nutrientes (Makkar, 2003; Costa *et al.*, 2021). Otros compuestos fenólicos como las cumarinas pueden ser hepatotóxicos (Natesh *et al.*, 2017).

Las saponinas (terpenoides) son consideradas responsables de una disminución en el consumo, causando carencias alimenticias, hemólisis y hasta la muerte. El consumo de plantas que contienen simultáneamente glucósidos cianogénicos, terpenos o alcaloides puede provocar problemas neurológicos. Por otro lado, el consumo elevado de taninos condensados reduce la disponibilidad de metionina, aminoácido necesario para detoxificar el cianuro, un MSP tóxico, por lo que este problema se agrava en presencia de altas concentraciones de taninos condensados (Natesh *et al.*, 2017; Reed *et al.*, 2017).

A. mearnsii es una planta rica en compuestos fenólicos que se caracterizan por su capacidad para reaccionar con macromoléculas y proteínas solubles de forrajes durante el paso a través del rumen (Denninger *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2021). Los compuestos fenólicos se unen a proteínas de diferente origen (plantas, saliva, tejidos, enzimas y microbios del rumen e intestino), lo que impide su degradabilidad (Makkar, 2003).

En estudios sobre la inclusión en la dieta de taninos obtenidos a partir de forraje de *A. mearnsii* hasta 18 g kg⁻¹ MS⁻¹, se observó que existió una disminución del nitrógeno excretado en la orina y mejoró el suministro de aminoácidos en novillos alimentados con forraje de avena fresca más concentrados, sin afectar significativamente la digestibilidad. Este resultado podría deberse a que los taninos pudieron proteger la degradación ruminal de proteínas de alto valor biológico como las de la harina de soya (Frutos *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2021).

Además, los taninos forman complejos con carbohidratos, proteínas e incluso con enzimas, lo que provoca una reducción de la biodegradación de estos componentes en el rumen, limitando la producción de gases y permitiendo su paso hacia el duodeno (Makkar, 2003; Costa *et al.*, 2021).

Por lo tanto, los taninos pueden tener efectos positivos y negativos sobre el valor nutritivo de los forrajes según la concentración en la que se encuentren. Así, a altas concentraciones (de 6-10 % de la MS) deprimen el consumo voluntario y la palatabilidad de las especies forrajeras. También reducen la digestibilidad de la materia seca, de la materia orgánica, de la fibra, de la proteína, y de los carbohidratos y por consiguiente afectan negativamente el desempeño productivo de los animales (Makkar, 2003; Frutos *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2021). En moderada y baja concentración (2-4 % de la MS) su efecto es beneficioso, previenen infecciones y aumentan la distribución de nitrógeno no amoniacal y de los aminoácidos esenciales desde el rumen. La concentración de los taninos en la dieta entre 0 y 12 % de la MS mostró una respuesta lineal y positiva en la formación de complejos (Denninger *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2021). Además, hay que considerar la especie animal que lo consume ya que los cérvidos y caprinos han desarrollado adaptaciones fisiológicas y anatómicas que le permiten hacer un uso más eficiente de las plantas ricas en taninos (Makkar, 2003; Frutos *et al.*, 2004).

***A. mearnsii* como reductor de metano**

Las investigaciones acerca de la nutrición de rumiantes se han centrado en el hallazgo de métodos para reducir las emisiones de CH₄ debido a su papel en el calentamiento global. El CH₄ producido durante la fermentación anaeróbica en el rumen representa de 2 a 12 % de la pérdida de energía neta en el animal hospedero y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero al medio. La producción de CH₄ por los rumiantes se produce de manera natural debido al proceso digestivo en estos, pero provoca una pérdida de energía (Frutos *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2019), y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero. La metanogénesis ruminal está influenciada por varios factores, entre los que destacan: consumo de

alimento, composición y digestibilidad de la dieta, y procesamiento previo del alimento. Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH₄ que se han propuesto, la manipulación nutricional parece ser la de mayor potencial, simplicidad y factibilidad (O'Donovan y Brooker, 2001; Makkar, 2003; Kim *et al.*, 2012).

Las plantas ricas en taninos y saponinas (como el género *Acacia*, *A. mearnsii*) (Kim *et al.*, 2012; Xiong *et al.*, 2016) tienen el potencial de mejorar el flujo de proteína microbiana del rumen, lo que aumenta la eficiencia de utilización de la dieta y la disminuye la producción de gas *in vitro* (Barros-Rodríguez *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2021; Pimentel *et al.*, 2021). La acción y los efectos sobre la fermentación ruminal de los metabolitos secundarios dependen de su naturaleza, la actividad y la concentración en las plantas o productos vegetales (Barros-Rodríguez *et al.*, 2015). Los taninos condensados de las plantas reducen la metanogénesis ruminal mediante la disminución de la formación de hidrógeno e inhibiendo a los metanogénicos, lo que mejora la eficiencia del nitrógeno absorbido (Barros-Rodríguez *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2021; Pimentel *et al.*, 2021).

Hay informes de menores emisiones de CH₄ por rumiantes que consumen forrajes con niveles de taninos condensados de bajos a moderados vs niveles descartables, determinados *in vitro* e *in vivo* en ganado vacuno (Makkar, 2003; Kim *et al.*, 2012). Sin embargo, esto podría disminuir la degradabilidad de algunos nutrientes de la dieta por inhibir la actividad enzimática y disminuir las poblaciones de protozoarios o de bacterias celulolíticas (Makkar, 2003; Frutos *et al.*, 2004).

La utilización de forrajes arbóreos y arbustivos de *Acacia* en la alimentación de rumiantes puede mejorar el ambiente ruminal, mediante el incremento de la digestibilidad y degradabilidad. En consecuencia, disminuye la población de protozoarios del rumen y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en los rumiantes, lo que se traduce en un mejor rendimiento productivo por parte del animal (Denninger *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2021).

***A. mearnsii* e implicaciones en el aporte de nitrógeno**

El objetivo de la nutrición de los rumiantes es proporcionar la cantidad de nutrientes que el animal necesita para alcanzar el máximo nivel de producción. Cualquier deficiencia o desequilibrio de nutrientes en la dieta puede provocar una disminución de la producción. Mientras que un exceso puede implicar pérdidas que afectan los costos de producción, a los animales y a el medioambiente (Lima *et al.*, 2011; Ariza Nieto *et al.*, 2020).

En la ganadería al pastoreo los niveles de nitrógeno (N) son generalmente desbalanceados, lo que conlleva a que la eficiencia del uso del N alimentario para la producción láctea sea < 30 % y constituyen una de las contaminaciones

medioambientales que genera la actividad ganadera (amoníaco (NH₃) y óxido nítrico (NO₂) en el aire, o nitrato en el suelo y en las aguas subterráneas) (Tamminga, 1996; Lima *et al.*, 2011).

Los forrajes provenientes de las leguminosas, entre ellas las arbustivas como la *A. mearnsii*, son excelentes fuentes de nitrógeno (140-280 g PB⁻¹ kg⁻¹ MS⁻¹) para los animales (Cáceres y González, 2002; Carvajal *et al.*, 2012; Ariza Nieto *et al.*, 2020).

Esto se debe, entre otros factores, a que, en la nutrición de los rumiantes, generalmente, la producción de NH₃ supera la capacidad de captación por parte de las bacterias, lo que resulta en un aumento de la concentración de NH₃ en el rumen. Este NH₃ se absorbe por difusión pasiva y pasa al sistema sanguíneo portal y en el hígado se metaboliza a urea. Su proceso fisiológico es ingresar a la mitocondria del hepatocito, donde entra a la vía carbamoil-fosfato en el ciclo de la urea, proceso que demanda mucha energía, que no puede ser utilizada en las funciones productivas y/o reproductivas (Reed *et al.*, 2017).

En los sistemas de pastoreo, alrededor de un 30 % del N ingerido se excreta en forma de urea en la orina (Tamminga, 1996). Cuando el N se consume por encima de las necesidades de los animales se incrementan las excreciones de N principalmente en forma de urea por la orina. Un experimento realizado en vacas lecheras en pastoreo demostró excreciones de N urinario de alrededor del 57 % del N ingerido (Tamminga, 1996; Lima *et al.*, 2011; Pastorini *et al.*, 2019). Otro estudio realizado en vacas lecheras alimentadas con dietas que combinaban pastos con raciones equilibradas reveló que las excreciones de N urinario correspondieron entre el 28 y el 46 % del N ingerido (Pastorini *et al.*, 2019). Estos valores muestran una baja eficiencia del uso del N dietario; por lo tanto, mejorar el uso de la proteína en las dietas reduciría las pérdidas en forma de N, considerando que la proteína es un nutriente que a nivel mundial tiene un costo económico más elevado que la energía. Lo que se agudiza por proceso de la transformación del NH₃ a la urea que involucra cambios metabólicos que generan para el animal altos costos energéticos a nivel hepático (Reed *et al.*, 2017). Cuando existe excesos de N en la dieta también se asocian a problemas reproductivos (repeticiones de servicios, reabsorción embrionaria y muerte fetal y abortos) en los animales, se ven efectos negativos sobre la calidad de la leche y sus derivados (Tamminga, 1996; Reed *et al.*, 2017; Pastorini *et al.*, 2019), y la mencionada contaminación medioambiental (Tamminga, 1996; Lima *et al.*, 2011).

***A. mearnsii* e implicaciones por el aporte de taninos**

El principal metabolito secundario de *A. mearnsii* son los taninos (>60 g kg⁻¹ MS⁻¹) y de aquí que sea una planta que se emplea en la extracción de estos compuestos para diversos

usos en la industria y la agricultura (Ahmed *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2021). Los taninos poseen uno o varios anillos aromáticos, grupos carboxilos y oxidrilos libres, con los que reaccionan entre ellos y con otros compuestos como por ejemplo las proteínas (Makkar, 2003; Ogawa y Yazaki, 2018). Dentro de los principales mecanismos de interacción con las proteínas están: 1) por enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de los restos fenólicos de taninos y oxígenos de acoplamiento de péptidos de las proteínas; 2) por interacciones hidrofóbicas entre los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos y las regiones hidrofóbicas de las proteínas (Frutos *et al.*, 2004). Estos complejos taninos-proteínas alteran la estructura secundaria de la proteína dificultando el ingreso de las bacterias para la degradación. Además, interactúan con enzimas y afectan el proceso de adhesión de las bacterias. Estas interacciones son reversibles a $\text{pH} > 8$ o $< 3,5$, en el abomaso ($\text{pH} \approx 2,5$) y en el duodeno ($\text{pH} \approx 8$) estos complejos taninos-proteínas se disocian (Makkar, 2003; Frutos *et al.*, 2004), permitiendo la liberación de aminoácidos, péptidos o proteínas; por lo que se busca reducir la desaminación proteica en el rumen y aumentar el flujo de proteína de la dieta al duodeno (Costa *et al.*, 2021; Pimentel *et al.*, 2021).

Por lo tanto, los MSP como los taninos pueden ser utilizados en las dietas de los rumiantes para disminuir la degradación ruminal de las proteínas, y de esta forma, disminuir las pérdidas urinarias de N y mejorar el flujo de aminoácidos hacia el duodeno. Estos reducen la tasa de producción de NH_3 ruminal lo que conlleva a una disminución del N excretado por la orina. Además, en el ciego disminuye la degradabilidad de los compuestos nitrogenados, y por ello conduce a un ligero aumento en la excreción de N por las heces, sin afectar su balance (Tammimga, 1996; Lima *et al.*, 2011; Pastorini *et al.*, 2019).

Entre los efectos benéficos de los taninos se encuentran su actividad como antioxidante, antibacteriano, antifúngico, efectos inhibidores sobre las cianogénicos y metanogénicos, inhibición de enzimas, efectos antiparasitarios y reproductivos (Lima *et al.*, 2019; Denninger *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2021). No obstante, existen algunos microorganismos ruminales con capacidad para degradar algunos taninos, sobre todo los llamados taninos hidrolizados (Makkar, 2003). Diversas especies de bacterias ruminales responden a la presencia de taninos mediante la inducción de cambios en su morfología, especialmente en la pared celular de diversas bacterias ruminales, se observó la presencia de un grueso glucocálix en respuesta a elevadas cantidades de taninos condensados, lo cual no ocurría con baja concentración de estos compuestos. Este fenómeno podría estar relacionado con la secreción de glicoproteínas análogas a las producidas en la saliva, con el objetivo de neutralizar la acción de estos metabolitos secundarios (Frutos *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2012; Lima *et al.*, 2019).

Del mismo modo O'Donovan y Brooker (2001) observaron que, en presencia de taninos, *Streptococcus gallolyticus* produce grandes cantidades de matriz extracelular, poseía menor cantidad de manosa, lo cual indica una modificación de su pared celular (Frutos *et al.*, 2004; Costa *et al.*, 2021). Además, las bacterias ruminales pueden disociar los complejos tanino-proteína, aunque para que esto ocurra se necesita que el ritmo de paso desde el rumen al abomaso sea muy lento para que las bacterias dispongan del tiempo suficiente, o que el número de bacterias presentes en el rumen sea lo suficientemente elevado como para acelerar el proceso de disociación ruminal (O'Donovan y Brooker, 2001; Kim *et al.*, 2012).

Skene y Brooker (1995) señalaron la presencia de *Selenomonas ruminantium* subsp. *ruminantium* en el rumen de cabras salvajes adaptadas al consumo de plantas ricas en taninos (*Acacia* spp.). Esta bacteria responde a la presencia de taninos mediante la expresión de la actividad de la enzima tanino acilhidrolasa, que produce ácido gálico a expensas de la hidrólisis de galotaninos. Así mismo, *Streptococcus caprinus* (*S. gallolyticus*) tolera grandes cantidades de taninos, produciendo pirogalol (producto de la degradación del ácido tánico) gracias a un aumento de la actividad galato descarboxilasa (Skene y Brooker, 1995; O'Donovan y Brooker, 2001).

CONCLUSIONES

La *A. mearnsii* se adapta a diversos ecosistemas y en condiciones de bajos insumos muestra un rápido crecimiento y aceptable producción forrajera, que unido a su contenido proteico, la convierten en una opción para pequeños y medianos productores que necesiten bajar los costos de producción por reducción de concentrados o alfalfa, sin afectar los rendimientos bioproductivos de los animales debido, fundamentalmente, a sus altos contenidos en taninos que favorecen el flujo de aminoácidos desde la dieta hasta el duodeno entre otros efectos benéficos sobre la salud y reproducción animal.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Luis Miguel Vargas Ortiz: Responsable de escribir el manuscrito publicado, específicamente, la redacción del borrador (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial). Responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación.

Marcos Barros Rodríguez: Revisión crítica del borrador inicial y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo. Colaboró en la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación.

Verónica Cristina Andrade Yucailla: Conceptualizó y formuló los objetivos generales de la investigación. Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado.

Cecil Eduardo Aguirre Casco: Contribuyó en la preparación, creación y presentación del trabajo publicado. Colaboró en la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación.

Raciel Lima Orozco: Responsable de la gestión, coordinación, planificación y ejecución de las actividades de investigación. Revisión crítica del borrador y recomendó modificaciones, supresiones y adiciones en el mismo (incluida la rectificación de los señalamientos realizados al mismo por los árbitros y Consejo Editorial).

BIBLIOGRAFÍA

- ABRS/CSIRO, 2001. *Mimosaceae Acacia. Flora of Australia. Part 1*. Canberra, Australia: Australian Biological Resources Study, vol. 11A, 673 p.
- AHMED, O., LEHLOENYA, K., MPHAPHATHI, M., *et al.* 2021. Effect of *Acacia mearnsii* tannin extract supplementation on reproductive performance and oxidative status of South African Mutton Merino Rams. *Animals*, 11 (11): 3266.
- ARIZA NIETO, C., MAYORGA MOGOLLÓN, O. L., GUADRÓN DUARTEL., *et al.* 2020. Alimento: el valor nutricional de recursos forrajeros de Colombia. Sistema de información. Disponible en: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403824>. Consultado 02/04/22.
- BARROS-RODRÍGUEZ, M. A., SOLORIO-SÁNCHEZ, F. J., SANDOVAL-CASTROC. A., *et al.* 2015. Rumen function *in vivo* and *in vitro* in sheep fed *Leucaena leucocephala*. *Tropical Animal Health and Production*, 47 (4): 757-764.
- CABI. 2022. Invasive species compendium. Datasheet: *Acacia mearnsii* (Black Wattle). CABI Survey Data: CABI (CAB International). Disponible en: <https://www.cabi.org/gisc/datasheet/2326#tosummaryOfInvasiveness>. Consultado 29/03/2022.
- CÁCERES, O. y GONZÁLEZ, G. 2002. Valor nutritivo de árboles, arbustos y otras plantas forrajeras para los rumiantes. *Pastos y Forrajes*, 25: 15-20.
- CARVAJAL, T., LAMELA, L. y CUESTA, A. 2012. Evaluación de las arbóreas *Sambucus nigra* y *Acacia decurrens* como suplemento para vacas lecheras en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Pastos y Forrajes*, 35 (4): 417-429.
- COSTA, E. I. D. S., RIBEIRO, C. V. D. M., SILVAT. M., *et al.* 2021. Effect of dietary condensed tannins inclusion from *Acacia mearnsii* extract on the growth performance, carcass traits and meat quality of lambs. *Livestock Science*, 253: 104717.
- CHAMORRO, B. y BENAVIDES, H. 2018. Evaluación del efecto de dos sistemas silvopastoriles de aliso (*Alnus acuminata*) y acacia (*Acacia melanoxylon*), en la producción de pasturas en la finca San Vicente, parroquia El Carmelo, provincia del Carchi. Tesis para optar al título de Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario. Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Tulcan, Ecuador, 51 p.
- DA SILVA ARAÚJO, M., CUSTÓDIO, J. P. C., DOS SANTOSB. F. A., *et al.* 2020. Growth and nutritional efficiency of *Acacia* seedlings in response to phosphate fertilization. *Revista Brasileirade Ciências Agrarias*, 15 (2): e7503.
- DENNINGER, T. M., SCHWARM, A., BIRKINSHAWA., *et al.* 2020. Immediate effect of *Acacia mearnsii* tannins on methane emissions and milk fatty acid profiles of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 261: 114388.
- FERNÁNDEZ, J. C., ZAPATA, A. F. y GIRALDO, L. A. 2016. Uso de la *Acacia decurrens* como suplemento alimenticio para vacas lecheras, en clima frío de Colombia. Disponible en: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3901/1/20061127121231_Uso%20acacia%20decurrens%20suplemento%20alimenticio%20vacas.pdf. Consultado 01/04/2022.
- FLÓREZ-OCHOA, J., LÓPEZ, Á., RENDÓNA., *et al.* 2010. Production of foliage at *Acacia decurrens* in the first planting year. *Revista Luna Azul*, 30: 1-5.
- FRUTOS, P., HERVÁS, G., GIRÁLDEZ. J., *et al.* 2004. Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2 (2): 191-202.
- KIM, E. T., KIM, C. H., MINK. S., *et al.* 2012. Effects of plant extracts on microbial population, methane emission and ruminal fermentation characteristics in *in vitro*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25 (6): 806-811.
- KRISNAWATI, H., KALLIO, M. and KANNINEN, M. 2011. *Acacia mangium Willd: Ecology, silviculture and productivity*. Bogor, Indonesia: CIFOR, 15 p.

- LIMA, P. D. M. T., CROUZOUOLON, P., SANCHEST. P., *et al.* 2019. Effects of *Acacia mearnsii* supplementation on nutrition, parasitological, blood parameters and methane emissions in Santa Inês sheep infected with *Trichostrongylus colubriformis* and *Haemonchus contortus*. *Experimental Parasitology*, 207: 107777.
- LIMA, R., DÍAZ, R. F., CASTROA., *et al.* 2011. Digestibility, methane production and nitrogen balance in sheep fed ensiled or fresh mixtures of sorghum-soybean forage. *Livestock Science*, 141 (1): 36-46.
- MAKKAR, H. P. S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49 (3): 241-256.
- NATESH, H. N., ABBEY, L. y ASIEDU, S. K. 2017. An overview of nutritional and anti nutritional factors in green leafy vegetables. *Horticulture International Journal*, 1 (2): 58-65.
- O'DONOVAN, L. and BROOKER, J. D. 2001. Effect of hydrolysable and condensed tannins on growth, morphology and metabolism of *Streptococcus gallolyticus* (*S. caprinus*) and *Streptococcus bovis*. *Microbiology (Reading)*, 147 (Pt 4): 1025-1033.
- OGAWA, S. and YAZAKI, Y. 2018. Tannins from *Acacia mearnsii* De Wild. Bark: tannin determination and biological activities. *Molecules*, 23 (4): 837.
- PASTORINI, M., POMIÉS, N., REPETTOJ. L., *et al.* 2019. Productive performance and digestive response of dairy cows fed different diets combining a total mixed ration and fresh forage. *Journal of Dairy Science*, 102 (5): 4118-4130.
- PIMENTEL, P. R. S., PELLEGRINI, C. B., LANNA, D. P. D., *et al.* 2021. Effects of *Acacia mearnsii* extract as a condensed-tannin source on animal performance, carcass yield and meat quality in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 271: 114733.
- PINILLA SUÁREZ, J. C., LUENGO VERGARA, K., NAVARRETE, T. M., *et al.* 2018. Ajuste de un modelo de volumen de árbol individual de *Acacia mearnsii* De Wild creciendo en la región del Bio Bio. *Ciencia & Investigación Forestal*, 24 (3): 7-26.
- REED, K. F., BONFÁ, H. C., DIJKSTRAJ., *et al.* 2017. Estimating the energetic cost of feeding excess dietary nitrogen to dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (9): 7116-7126.
- REYES, G., CARMONA, S. L. y FERNÁNDEZ, M. E. 2018. Aspectos fisiológicos y de aprovechamiento de *Acacia mangium* Willd. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12 (1): 244-253.
- SKENE, I. and BROOKER, J. 1995. Characterization of tannin acylhydrolase activity in the ruminal bacterium *Salenimona ruminatum*. *Anaerobe*, 1: 321-327.
- TAMMINGA, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *Journal of Animal Science*, 74 (12): 3112-3124.
- XIONG, J., GRACEB, M. H., ESPOSITOD., *et al.* 2016. Phytochemical characterization and anti-inflammatory properties of *Acacia mearnsii* leaves. *Natural Product Communications*, 11 (5): 649-653.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una [Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.