https://doi.org/10.69639/arandu.v13i4.2711

Uso de *Tithonia diversifolia* como suplemento forrajero en vacas en lactancia: efectos sobre la fermentación ruminal, productividad y sostenibilidad

Use of Tithonia diversifolia as a forage supplement for lactating cows: effects on ruminal fermentation, productivity, and sustainability

María José Silva Rios
msilva5814@uta.edu.ec
https://orcid.org/0009-0006-9533-4450
Universidad Técnica de Ambato
Ambato - Ecuador

Jorge David Ramos Granda
jramos2910@uta.edu.ec
https://orcid.org/0009-0004-9403-4822
Universidad Técnica de Ambato
Ambato – Ecuador

Artículo recibido: 10 septiembre 2026- Aceptado para publicación:16 octubre 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La ganadería lechera en el trópico presenta constantes desafíos: la baja calidad nutricional de los pastos durante la época seca y la alta dependencia financiera de concentrados comerciales. Frente a esta problemática *Tithonia diversifolia* destaca como un recurso forrajero estratégico debido a su elevado contenido proteico (11.7 % a 26.5 %) y su gran resistencia climática. El objetivo de esta revisión fue analizar el impacto de *T. diversifolia* como suplemento durante la fermentación ruminal, productividad y sostenibilidad en vacas lecheras. Guiando la investigación bajo la metodología PRISMA 2020, se examinaron 24 estudios (in vivo e in vitro) publicados entre 2010 y 2026. Los resultados evidenciaron que a inclusiones moderadas (6.5 % a 25 %) en la dieta no se encontraron diferencias en la producción y composición de la leche, mientras que en sistemas silvopastoriles o ensilajes se notó un leve incremento del rendimiento. Sin embargo, niveles elevados de esta arbustiva (50 %) deprimen el consumo e inducen caída del 9,9 % por efecto de llenado ruminal. A nivel ruminal la suplementación de esta arbustiva estabiliza el pH (6.2 – 6.8) e incrementa el nitrógeno amoniacal. Así mismo por acción de metabolitos secundarios se observa una reducción de poblaciones metanógenas y por consiguiente la intensidad de las emisiones de metano se ve disminuida. Por último, al sustituir concentrados comerciales con *T. diversifolia* se observa una reducción en los costos de producción. Se concluye que esta arbustiva es una herramienta eficiente, rentable y ambientalmente responsable para la ganadería tropical.

Palabras clave: Tithonia diversifolia, nutrición, vacas en lactancia, producción, sostenibilidad

ABSTRACT

Tropical dairy farming faces constant challenges: the low nutritional quality of pastures during the dry season and a high financial dependence on commercial concentrates. Given this problem, *Tithonia diversifolia* stands out as a strategic forage resource due to its high protein content (11.7% to 26.5%) and high climate resilience. The objective of this review was to analyze the impact of *T. diversifolia* as a supplement on ruminal fermentation, productivity, and sustainability in dairy cows. Guided by the PRISMA 2020 methodology, 24 studies (in vivo and in vitro) published between 2010 and 2026 were examined. Results showed that at moderate inclusion levels (6.5% to 25%) in the diet, no differences were found in milk production and composition, whereas a slight yield increase was noted in silvopastoral systems or silages. However, high levels of this shrub (50%) depress intake and induce a 9.9% drop due to a ruminal fill effect. At the ruminal level, supplementation with this shrub stabilizes pH (6.2–6.8) and increases ammonia nitrogen. Likewise, due to the action of secondary metabolites, a reduction in methanogenic populations is observed, and consequently, the intensity of methane emissions is decreased. Finally, replacing commercial concentrates with *T. diversifolia* leads to a reduction in production costs. It is concluded that this shrub is an efficient, profitable, and environmentally responsible tool for tropical livestock production.

Keywords: Tithonia diversifolia, nutrition, lactating cows, production, sustainability

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Atribution 4.0 International.

INTRODUCCIÓN

La producción lechera en zonas tropicales se enfrenta a importantes desafíos asociados con la disponibilidad y calidad de los recursos forrajeros, especialmente en los períodos de sequía y de baja productividad de las pasturas. Estas condiciones afectan la calidad nutricional de la dieta en vacas en lactancia, incrementando la dependencia de concentrados comerciales, aumentando los costos de producción e incrementando el impacto económico en los sistemas lecheros (Michael et al., 2022). Considerando esta problemática se han buscado alternativas forrajeras adaptadas a condiciones tropicales adversas siendo una estrategia fundamental para mejorar la eficiencia productiva y fortalecer la sostenibilidad de la ganadería (Gallego et al., 2014; Ribeiro et al., 2016).

Entre las arbustivas con gran potencial nutricional destaca *Tithonia diversifolia* (botón de oro), una planta altamente distribuida en áreas tropicales, se caracteriza por tener una alta producción de biomasa, buena adaptabilidad a suelos de fertilidad media o baja y un alto contenido de proteína, minerales y compuestos de interés alimentario en rumiantes (Gallego et al., 2014; Ruíz et al., 2014). Dichas características han favorecido su incorporación como suplemento forrajero en diferentes sistemas de producción bovina, además de evaluar distintas formas de suministro como harina, ensilaje, forraje fresco o pastoreo.

Además del valor nutricional del suplemento, la fermentación ruminal es un proceso clave en la producción lechera, dado que los carbohidratos y proteínas del alimento son transformados en ácidos grasos volátiles (AGV) y proteína microbiana, siendo la principal fuente de energía y nutrientes para el animal (Mauricio, 2017). Si embargo, este proceso genera metano entérico, siendo uno de los principales gases de efecto invernadero y una fuente de energía perdida durante la digestión (Huws et al., 2018). Por lo cual hay un creciente interés en buscar estrategias nutricionales que mejoren la utilización de nutrientes, la fermentación ruminal y contribuyan a reducir el impacto ambiental de los sistemas lecheros.

Diversos estudios sugieren que la presencia de metabolitos secundarios como taninos y saponinas presentes en *Tithonia diversifolia* puede modificar la fermentación ruminal influyendo sobre la microbiota ruminal, la producción de AGV y la composición de la leche (Huws et al., 2018). No obstante, los resultados presentan múltiples variaciones relacionadas con el nivel de inclusión, la forma de suministro, la calidad del forraje y el sistema de producción lo que dificulta establecer conclusiones consistentes sobre su efecto en vacas en lactancia.

Ante esta heterogeneidad es necesario integrar y analizar de manera sistemática la evidencia científica disponible, para identificar las tendencias y alcance de los efectos de *Tithonia diversifolia*. En este sentido la presente revisión sistemática tuvo como objetivo analizar el uso de *T. diversifolia* como suplemento forrajero y sus efectos sobre la fermentación ruminal, la productividad y la sostenibilidad en vacas en lactancia, proporcionando una síntesis actualizada

que sirva como base para la toma de decisiones en investigaciones y producción bovina en condiciones de las zonas tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

El presente estudio corresponde a una revisión sistemática de la literatura científica, cuyo propósito fue recopilar, analizar y sintetizar la evidencia disponible sobre el uso de *Tithonia diversifolia* como suplemento forrajero en vacas en lactancia y sus efectos sobre la fermentación ruminal, productividad y sostenibilidad. La revisión se desarrolló siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para el desarrollo de una revisión sistemática y estrategias de búsqueda con operadores booleanos, con el objetivo de garantizar transparencia durante el proceso de búsqueda, selección y análisis de los estudios incluidos.

Estrategias de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó considerando investigaciones científicas entre 2010 y 2026 en las bases de datos SciELO, Scopus, PubMed, Dialnet, SpringerLink, Web of Science y Google Scholar. Adicionalmente se consultaron repositorios de organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Para la búsqueda se emplearon palabras clave en español e inglés combinadas como: “Tithonia diversifolia” AND “Dairy cows”, “Lactating cows AND Tithonia diversifolia”, “Milk production”, “Methane”, “Sustainability” y Tithonia diversifolia AND “Rumen fermentation NOT goats”.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos científicos que hayan sido publicados en revistas indexadas y bajo revisión por pares, estudios aplicados en vacas en lactancia e investigaciones que evalúen *Tithonia diversifolia* como suplemento alimenticio, considerando variables relacionadas con la fermentación ruminal, parámetros productivos, composición de la leche y la sostenibilidad. Se excluyeron estudios realizados en especies diferentes a bovinos, revisiones bibliográficas, resúmenes de congresos y publicaciones sin acceso al texto completo.

Selección y extracción de la información

Los estudios encontrados fueron sometidos a un proceso de selección en cuatro etapas: identificación, eliminación de duplicados, evaluación de títulos y resúmenes, y revisión del texto completo, para finalmente registrar la siguiente información en una matriz en Microsoft Excel considerando las siguientes variables:

- Autor
- Año de publicación
- Tipo de estudio
- País donde se realizó la investigación

- Niveles de inclusión de *Tithonia diversifolia*
- Variables de fermentación ruminal
- Composición y producción de leche
- Indicadores de sostenibilidad económica y productiva

Evaluación de la calidad metodológica

Con el objetivo de garantizar la confidencialidad de la información analizada, se incluyeron únicamente estudios evaluando los aspectos metodológicos relacionados con el diseño experimental y el reporte de resultados. En cada artículo se verificó que describa de manera clara la población animal, la inclusión de *Tithonia diversifolia*, forma de suministro del suplemento, las variables evaluadas y los resultados del estudio. Se consideraros aptos para el análisis y la síntesis únicamente artículos que cumplan con los criterios suficientes ya mencionados.

Presentación de los resultados

La información sustraída se organizó en tablas comparativas además de resumirse las características generales de los estudios y resultados obtenidos, los resultados se presentaron por medio de figuras y gráficos para facilitar la interpretación de la evidencia recopilada. En los estudios que presentaron un tratamiento control (0% *Tithonia diversifolia*) se calculó el cambio porcentual con respecto al control mediante la siguiente formula:

$$\text{Cambio (\%)} = (\text{Valor del tratamiento} - \text{Valor del control}) : \text{Valor de control} \times 100$$

El objetivo de este procedimiento fue estandarizar la respuesta de cada estudio y comparar el efecto de los niveles de inclusión independientemente de las diferencias en producción, raza o sistema de alimentación.

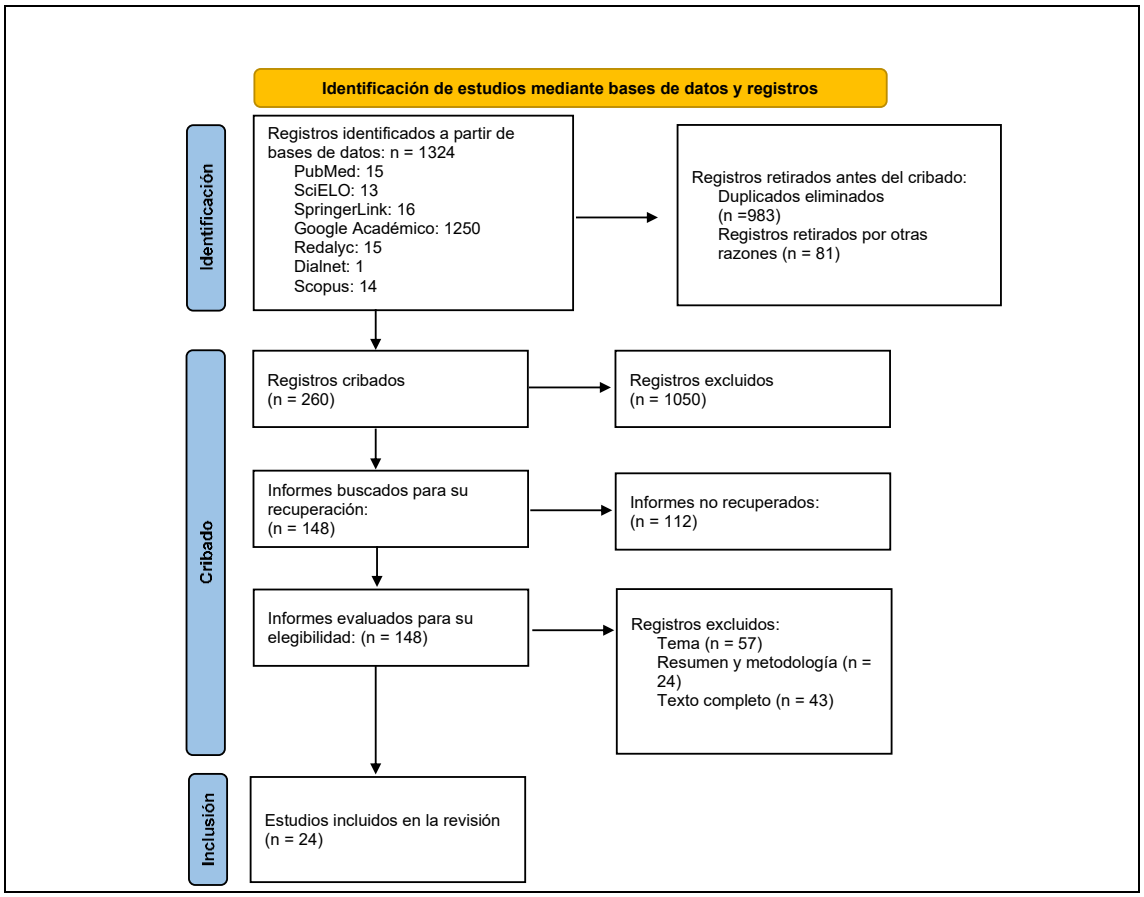
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La búsqueda bibliográfica ayudo a identificar estudios publicados entre los años 2010 y 2026, todos los estudios relacionados con el uso de *Tithonia diversifolia* (TD) como suplemento forrajero en vacas en lactancia. Siguiendo como base la metodología PRISMA 2020 observada en la figura 1, se seleccionaron 24 investigaciones que evaluaron el efecto de esta especie forrajera sobre la fermentación ruminal, la producción y composición de la leche, así como indicadores relacionados con la sostenibilidad en los sistemas de producción lechera tropical.

Con el fin de facilitar la interpretación de la evidencia encontrada, los resultados fueron organizados considerando las principales variables evaluadas y se analizaron comparativamente considerando el nivel de inclusión de TD, la forma de suministro y el tipo de estudio (*in vivo* e *in vitro*).

Figura 1

Diagrama de flujo de selección de estudios bajo la metodología PRISMA 2020.



Nota: Muestra las cuatro fases (Identificación, Cribado, Elegibilidad e Inclusión) detallando las fuentes de información primarias, el número de registros filtrados y los motivos de exclusión hasta consolidar el corpus final de 24 artículos científicos.

Características de los estudios incluidos

La mayoría de estudios incluidos en la revisión fueron desarrollados en países tropicales de América Latina liderados principalmente por Colombia, además de otros reportes presentados en Brasil, Costa Rica, Cuba, Uganda e Indonesia. Se identificaron estudios in vivo en vacas en lactancia principalmente de la raza Holstein, seguida de la raza Jersey y doble propósito. Los estudios in vitro orientados a evaluar los efectos de *Tithonia diversifolia* sobre la fermentación ruminal y la producción de gases. En los diferentes estudios se destaca la forma de suplemento incluyendo forraje fresco, harina, ensilaje, pastoreo y sistemas silvopastoriles, presentando diferentes niveles de inclusión de oscilaron entre 6,5 % y 50 % de la dieta dependiendo el tipo de estudio como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Características generales de los estudios incluidos

Autor/año	País	Animales	Sistema/forma de suministro	Nivel o tratamiento con *T. diversifolia*	Principales variables evaluadas
Katongole et al., (2016)	Uganda	5 vacas lecheras	Heno suplemento	27,3, 31.3 y 41,0 %	Consumo, producción de leche, eficiencia de utilización de PC, economía
Ribeiro et al., (2016)	Brasil	12 vacas + animales canulados	Ración total mezclada en concentrado	6,5 y 15,4 % MS	Consumo, leche, composición, AGV, CH_4
Gallego et al., (2017)	Colombia	9 vacas Holstein	Harina en suplemento	15 y 25 %	Consumo, producción, composición de leche, beneficio:costo
Arias et al., (2018)	Costa Rica	9 vacas Jersey	Forraje fresco picado	0, 25 y 50 %	Producción, composición de leche, costos
Galindo et al., (2018)	Cuba	100 vacas Holstein	Sistema silvopastoril	6912 plantas/ha	pH, NH_3, AGV, microbiota ruminal, fermentación
Cardona et al., (2022)	Colombia	24 vacas Holstein	Sistema silvopastoril	1110 arbustos/ha	Consumo, leche, digestibilidad de N, excreción de N
Angulo et al., (2021)	Colombia	10 vacas Holstein	Ensilaje	4 kg/vaca/día	Consumo, producción, composición de leche, eficiencia, economía
Rivera et al., (2022)	Colombia	8 vacas doble propósito	Forraje fresco sin picar	15 % de la MS	Consumo, producción, nutrientes, CH_4
Rodríguez & Aguilar J., (2025)	Colombia	10 vacas Holstein	Harina en concentrado	12,5 %	Consumo, leche, grasa, perfil de ácidos grasos de leche, economía
Arias et al., (2023)	Colombia	9 vacas Holstein	Ensilaje	10 % de la dieta	Consumo, leche, composición, emisiones de metano.
Terry et al., (2016)	Brazil	3 grupos por tratamiento	In vitro foraje	6.9, 15.2 y 29.2 %	Fermentación ruminal y emisiones de metano
Ananta et al., (2025)	Indonesia	15 muestras	In vitro silo	25, 50 y 75 %	Fermentación ruminal y emisiones de metano
Holguín et al., (2020)	Colombia	No reportado	In vitro silo	0 y 33 %	Fermentación ruminal, excreción de gases.

Composición nutricional de *Tithonia diversifolia* reportada en los estudios

La composición bromatológica reportada para *Tithonia diversifolia* presentó una amplia variabilidad entre estudios según la edad de corte (30 – 160 días) y la forma de suministro como se observa en la Tabla 2. El contenido de proteína cruda (PC) oscilo entre 11,66 y 26,51 %, la fibra detergente ácida (FDA) se encontró en un rango entre 24,8 y 40,15 % mientras que la fibra detergente neutro fluctuó entre 24,9 % y 49,19 % acompañados de contenido de Lignina de hasta 11.5 %. En cuanto a la concentración de minerales y energía se destacaron valores elevadas de cenizas (2.8 % a 17.10 %) y calcio (0,69 % y 2,73 %), mientras que la cantidad de fosforo oscilo de 0,22 % a 0,54 %, confirmando la calidad nutricional de la planta a pesar de su heterogeneidad entre estudios (Tabla 2).

Tabla 2

Composición nutricional de tithonia diversifolia reportada en los estudios incluidos

Autor	Edad de corte	Forma de suministro	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	Lignina (%)	Cenizas (%)	Calcio (%)	Fosforó (%)	EM
Rodríguez & Aguilar J., (2025)	90 días	Harina	22,1	42,2	24,8	1,5	NE	15,9	NE	NE	NE
Cardona et al., (2022)	70 días	Pastoreo	16.6 ± 1.52	36.7 ± 2.02	31.2 ± 2.87	NE	8.2 ± 0.26	10.5 ± 1.43	2.3 ± 0.30	0.22 ± 0.03	6.0 MJ/Kg
Galindo et al., (2018)	NE	Pastoreo	24.2	35.3	30.4	NE	NE	5.9	2.3	0.4	NE
Angulo et al., (2021)	70 días	Ensilaje	22.4	37.7	NE	NE	NE	NE	2.73	0.4	1.23 Mcal /Kg
Rivera et al., (2022)	30 – 42 días	Pastoreo	26.51 ± 1.87	44.61 ± 8.65	37.63 ± 8.86	6.26 ± 0.223	NE	17.10 ± 3.06	1.64 ± 0.198	0.392 ± 0.192	NE
Gallego et al., (2017)	56 días	Harina	11.66	37.17	32.40	2.96	6.02	12.14	2.34	0.22	NE
Arias et al., (2018)	50 días	Forraje	21.5	42.5	36.8	2.4	11.5	11.5	1.4	0.3	NE
Katongole et al., (2016)	NE	Harina	16.6 ± 1.52	36.7 ± 2.02	31.2 ± 2.87	NE	8.2 ± 0.26	10.5 ±1.43	2.3 ± 0.03	0.22 ± 0.3	6.0 MJ/Kg
Arias et al., (2023)	90 días	Ensilaje	20.50	49.19	26.23	NE	4.02	10.82	0.69	0.54	4.18 Mcal/Kg
Terry et al., (2016)	160 días	Forraje	13.9 – 15.9	24.9 – 34.9	NE	1.7	NE	2.8 – 3.2	NE	NE	NE

Las diferencias observadas en la composición nutricional pueden estar atribuidas a la edad de corte y la forma de suministro utilizadas en las diferentes investigaciones. El estudio Rivera et al., (2022) reportó mayor cantidad de PC (26.51 %) con plantas cosechadas entre los 30 y 42 días de rebrote, mientras que el autor Gallego et al., (2017) registraron el menor valor (11.66%) en plantas cosechadas a los 56 días. Este comportamiento da un indicio que la madurez fisiológica de la planta influye directamente sobre la concentración de proteína además del incremento de fracciones fibrosas debido al incremento de componentes estructurales de la pared celular conforme avanza el desarrollo de la planta. Además Gallego et al., (2014) en su estudio menciona que la composición nutricional de la planta además de verse afectada por los días de corte puede tener diferencias significativas en relación al suelo donde se cultiva y la época ya sea lluviosa o seca.

Desde el punto de vista nutricional, el contenido de proteína cruda presente en los estudios excede el límite mínimo del 7 % y al 8 % requerido para sostener una adecuada fermentación y actividad microbiana en el rumen según menciona Van Soest, (1994), lo que respalda el alto potencial de Tithonia diversifolia como suplemento proteico funcional en vacas lecheras (Galindo et al., 2018; Katongole et al., 2016) Sin embargo, la acumulación progresiva de FDA y FDN observada a mayor madures fenológica y aún más sometido a secado intenso (harinas) puede aumentar el llenado físico y la fracción no degradable de la pared celular (Rivera et al., 2022). Por lo cual se puede ver comprometido la tasa de pasaje ruminal, disminuir la digestibilidad aparente y limitando el consumo voluntario de materia seca cuando la inclusión es elevada (Arias, 2018).

Este comportamiento en la fracción fibrosa concuerda con lo reportado por Paniagua et al., (2020), quienes observaron que al avanzar la edad de rebrote de *T. diversifolia* de 42 a 70 días

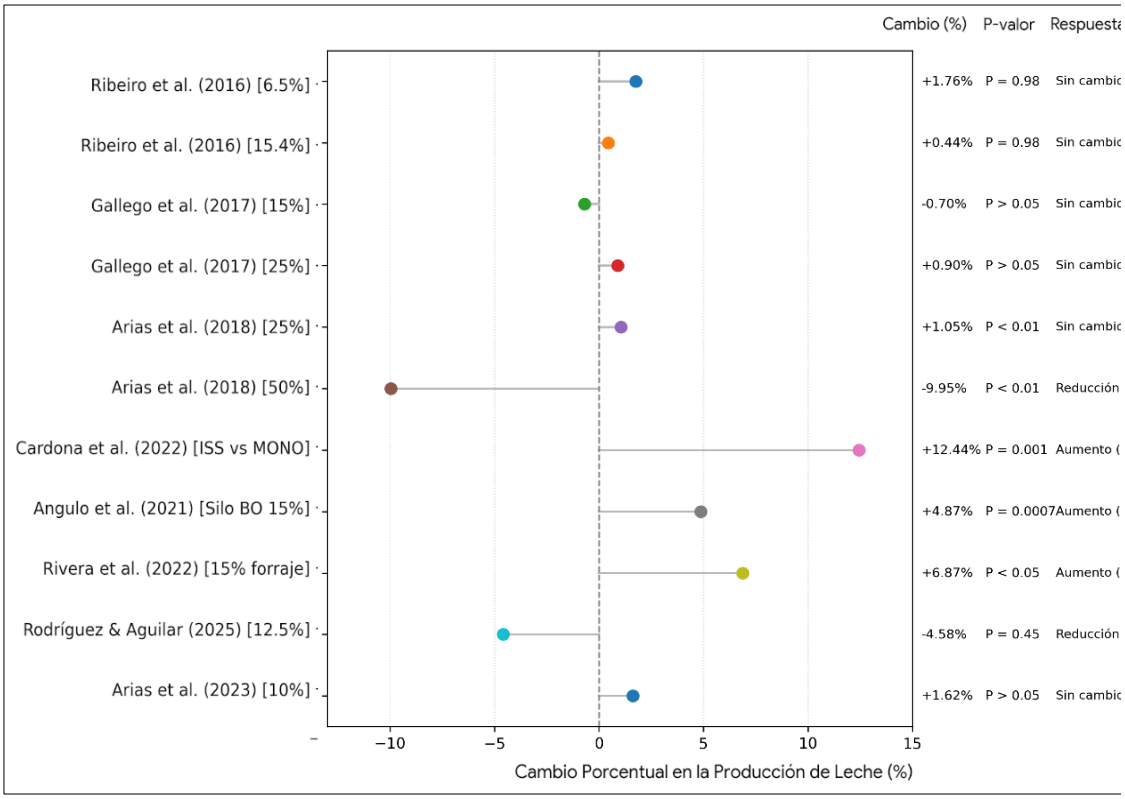
las fracciones estructurales FDN y FDA se incrementaron significativamente, llegando a alcanzar hasta 41.2% y 31.0% respectivamente, dichos resultados provocaron una reducción en la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS: de 85,2 % a 71.6 %; P< 0,001). Esta pérdida del valor nutritivo también esta explicada por Meza et al., (2022) quien ha demostrado que los días de cosecha (de 35 a 75 días) reduce de manera progresiva la fracción degradable total de la MS, MO, FDN y FDA (P< 0,05). Este proceso de madurez vegetal promueve una mayor lignificación de la pared celular, disminuyendo la digestibilidad de la fibra e incrementando los residuos no degradables en el rumen. Dichos hallazgos confirman que el retraso en el tiempo de corte no solo deprime el valor proteico de *T. diversifolia*, sino que deteriora la cinética de degradación ruminal de las fracciones fibrosas, limitando el aprovechamiento energético y el consumo en bovinos lecheros.

Efectos sobre la producción y composición de la leche

Al evaluar la variable de producción de leche basándose en el cambio porcentual relativo al control presentado en la **figura 2,** se evidencia que la inclusión de *T. diversifolia* en la dieta en vacas lecheras genera respuestas productivas variables fuertemente relacionadas con la inclusión y la forma de suministro. La producción de leche en la mayoría de tratamientos evaluados con inclusiones bajas a moderadas (6,5 % a 25 %), no mostró diferencias significativas (P > 0,05) respecto a las dietas control (Gallego et al., 2017; Ribeiro et al., 2016; Rodríguez & Aguilar J., 2025). Estos resultados demuestran que *T. diversifolia* puede considerarse un sustituto parcial viable como forraje fresco o suplementos concentrados, sin comprometer el rendimiento lácteo diario.

Figura 2

Efecto de la inclusión de Tithonia diversifolia sobre la producción de leche (kg/día)



Nota: Los cambios porcentuales son descriptivos respecto al control. Debido a las diferencias entre diseños, dietas y formas de suministro, la figura no representa un metaanálisis.

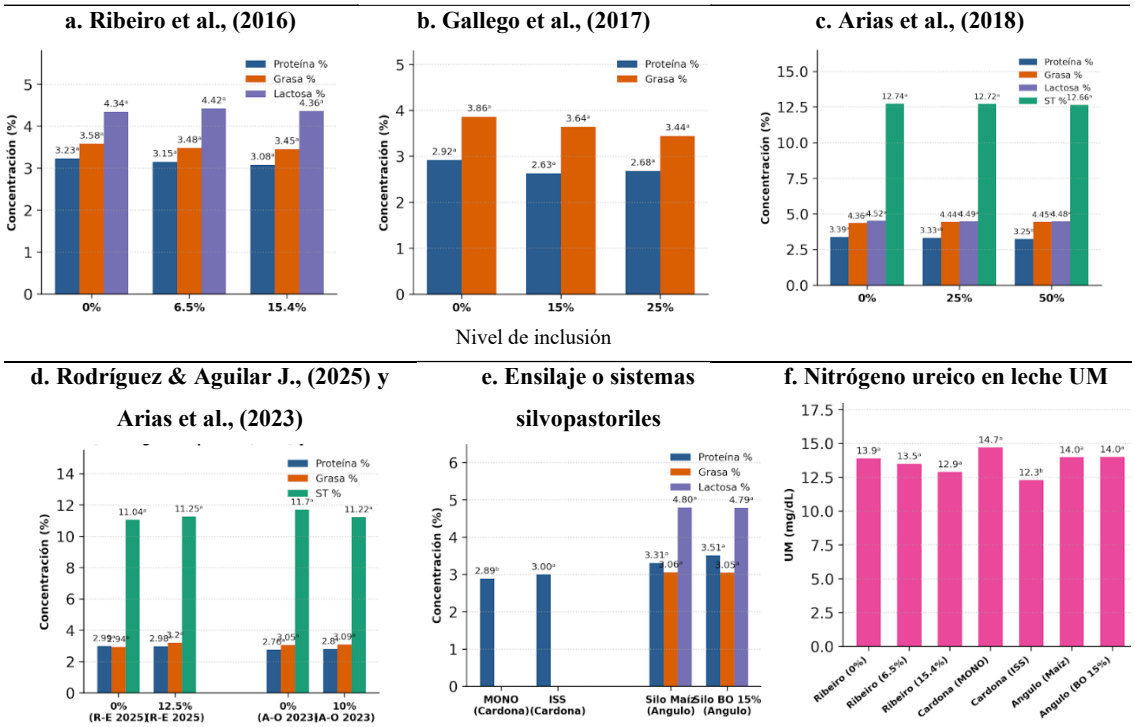
Por el contrario Cardona et al., (2022) mostró incrementos significativos de +13,46 % (P= 0,001) con respecto al control, registrando respuestas superiores al integrar esta especie forrajera en Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi). Además Angulo et al., (2021) y Rivera et al., (2022) manifiestan un incremento de +4,87 % y +6,87% respectivamente al incluir *T. diversifolia* en forma de ensilaje. Estos aumentos responden a una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno y al consumo sinérgico de carbohidratos no estructurales provistos por el ramoneo o el proceso de fermentación láctica del ensilaje. No obstante, se observa un punto de inflexión desfavorable en inclusiones elevadas de forraje fresco; Arias et al., (2018) reportó una caída del 9,95 % (P < 0,01) al incluir 50 % de *T. diversifolia*, fenómeno atribuible al efecto de llenado ruminal, menor pasaje de la fibra estructurada y una ingesta calórica restringida por alta humedad o factores antinutricionales en dietas no balanceadas.

El análisis presente en la **figura 3** muestra que *T. diversifolia* no altera de manera negativa la composición de la leche, llegando a mantenerse estable en la mayoría de los estudios evaluados (P > 0,05). La concentración de sólidos totales (ST) y lactosa permanecieron estables en todos los niveles de inclusión (Gráficos C, D y E), lo cual es compatible con la fisiología mamaria, donde la lactosa actúa como principal osmolito regulador del volumen lácteo y su síntesis es estrictamente dependiente del aporte de glucosa vía propionato ruminal. La estabilidad de los ST (11,04 % a 12,74 %) demuestra que la incorporación de la arbustiva bajo distintas

formas de procesamiento (forraje fresco, ensilaje o harina), no afecta la oferta energética total necesaria para la síntesis de solidos de la leche.

Figura 3

Efecto de la inclusión de Tithonia diversifolia sobre la composición química de la leche



Variable	Reportado en	Efecto principal de Tithonia diversiflia	Conclusión general de la Revisión
Proteína (%)	**7/7 estudios**	Aumento significativo en Cardona (ISS) y Arias (25%). Sin cambios en los demás.	Mantiene o incrementa ligeramente la proteína láctea.
Grasa (%)	**6/7 estudios**	Aumento significativo en (Rodríguez, 2025) al 12.5%. Sin cambios en el resto.	No hay alteración negativa del contenido graso.
Lactosa (%)	**4/7 estudios**	Sin diferencias significativas ($p > 0.05$) en todos los estudios.	La concentración de lactosa es muy estable
Sólidos totales (%)	**3/7 estudios**	Sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos.	No se ve afectada la concentración de ST.
Nitrógeno Ureico (UM)	**3/7estudios**	Reducción significativa en (Cardona et al., 2022).	Mejora la eficiencia en el uso de nitrógeno en la dieta.

Los resultados reportados en 7 estudios respecto al contenido de proteína láctea muestran que la suplementación para esta variable se sostiene o se incrementa ligeramente. Este relativo aumento observado en los sistemas silvopastoriles intensivos (3,00 % en SSPi vs 2,89% en MONO) coincide también con mayores producciones de leche observadas en la Figura 2 para Cardona et al., (2022). Este efecto se explica por un elevado contenido de proteína cruda aportado por *T. diversifolia* (11,66 % a 26,51%), la cual al combinarse con carbohidratos solubles de la dieta basal optimiza la síntesis microbiana en el rumen.

Por el contrario, la ligera caída de la proteína láctea presentada por Arias et al., (2018) con una inclusión del 50 % (3,35 % vs 3,39 %) se relaciona de forma directa con la disminución drástica en la producción de leche (-9.95 %, figura 2), confirmando que la inclusión masiva de esta arbustiva induce una saciedad física por la cantidad de FDN/FDA que restringe el consumo energético total.

La grasa láctea evaluada en 6/7 estudios se mantuvo estable (entre 3,04 % y 4,45 %) con un pequeño incremento puntual en (Rodríguez & Aguilar J., 2025) al 12,5 % de inclusión. La preservación del porcentaje graso es un indicativo de que la fermentación ruminal no ha sufrido desplazamientos drásticos hacia vías lipogénicas desfavorables. Aunque el incremento de fracciones fibrosas (FDN y FDA) en forrajes maduros o harinas puede ralentizar la digestibilidad por lignificación, los niveles de inclusión moderados menores a un 25%, aportan la FDN suficiente para estimular la masticación, rumia y producción de acetato ruminal, principal precursor de la grasa en la glándula mamaria.

Finalmente, el nivel de nitrógeno ureico en leche (UM) evaluados en la figura 3 (grafico F) se encontraron en un rango fisiológico normal (12 – 15 mg/dL ; Montoya, n.d.) registrando valores de entre 12,3 y 14,7 mg/dL. Se destaca una reducción significativa en el estudio de Cardona et al., (2022) al pasar del sistema de monocultivo (14,7 mg/dL) a silvopastoril (12,3 mg/dL). La reducción de urea es un indicador metabólico clave que evidencia un efecto positivo en la combinación del ramoneo de *T. diversifolia* con las gramíneas mejorando la degradación del nitrógeno proteico y la disponibilidad de energía en el rumen. Reduciendo el exceso de amonio circulante que debe ser convertido en urea por el hígado, mejorando la eficiencia del nitrógeno dietario, reduciendo el costo energético hepático y disminuyendo la excreción de nitrógeno (Gallego et al., 2014).

Implicaciones sobre la fermentación ruminal

Los parámetros de fermentación ruminal (pH, nitrógeno amoniacal y ácidos grasos volátiles) variaron según el nivel de inclusión, la forma de suministro o el tipo de estudio (in vivo o in vitro). En los estudios in vivo, Ribeiro et al., (2016) no reportó diferencias significativas en el perfil de AGV (ácidos grasos volátiles) mucho menos en la concentración de AGVT (Ácidos grasos volátiles totales) con niveles de inclusión de 6,5 y de 14,4 %, mientras que (Galindo et al., 2018) reportaron valores mayores de pH ruminal y nitrógeno amoniacal bajo un sistema silvopastoril con presencia de *T. diversifolia.*

Por el contrario, los estudios in vitro evaluados registraron un incremento progresivo de los AGVT conforme se incrementó el porcentaje de inclusión de la arbustiva, Terry et al., (2016) observó un aumento de acetato y butirato acompañado con una disminución del propionato, mientras que Ananta et al., (2025) registraron un incremento en el nitrógeno amoniacal y una reducción del pH conforme avanzaba la inclusión de *T. diversifolia* (Tabla 3).

Tabla 3

Efecto del nivel de inclusión de tithonia diversifolia sobre las variables de fermentecion ruminal (pH, NH5-N, AGVT y perfil de AGV) según diversos autores

Autor	Inclusión TD	Variables evaluadas						Respuesta
		pH rumen	NH3 – N meq/L	AGVT mmol/L	Ace	Pro	But	
Ribeiro et al., (2016)	0 %	-	-	101.9	57.1	23.1	15.2	No hubo diferencia significativa entre tratamientos.
	6.5 %			102.8	57.9	21.9	14.5	
	15.4 %			103.3	57.7	23.3	13.2	
Galindo et al., (2018)	SPS	6.78	35.13	-	45.60	11.83	11.45	↑ de AGV y nitrógeno amoniacal en el SPS.
	Control	6.37	24.17		40.67	10.58	12.48	
Terry et al., (2016)	0 %	5.75	-	81.6^{a}	34.6^{a}	47.3^{a}	16.9^{a}	↑ de AGV a mayor inclusión de TD.
	6.9 %	5.74		81.6^{a}	38.5^{b}	42.8^{b}	18.7^{ab}	
	15.2 %	5.73		99.7^{b}	41.3^{c}	37.9^{c}	20.9^{c}	
	29.2 %	5.80		97.2^{b}	48.8^{d}	31.6^{d}	19.6^{bc}	
Holguín et al., (2020)	0 %	-	-	50.10	27.86	13.34	8.35	↑ de AGV con inclusión de TD
	33 %			40.5	23.45	10.83	5.87	
Ananta et al., (2025)	0 TD %	4.70^{a}	5.5^{e}	60.2^{e}	-			↓ de pH a mayor inclusión de TD, ↑ de nitrógeno amoniacal a mayor % de TD y ↑ de AGVT hasta una inclusión del 75 %
	25 TD %	4.55^{b}	7.1^{d}	70.4^{d}				
	50 TD %	4.40^{c}	9.3^{c}	80.5^{bc}				
	75 TD %	4.25^{d}	10.6^{b}	83.1^{ab}				
	100 PM %	4.30^{d}	12.7^{a}	78.8^{c}				

Nota: TD: Tithonia diversifolia; PM: Panicum maximum; NH3 – N: Nitrógeno amoniacal; AGVT: Ácidos grasos volátiles totales; Ace: Ácido acético; Pro: Acido propiónico; But: Acido butírico

pH ruminal

Los estudios *in vivo* registraron que la inclusión de T. diversifolia mantuvo el pH dentro del rango fisiológico normal para vacas lecheras 6,2 a 6,8 según Van Soest, (1994), el estudio realizado por Ribeiro et al. (2016) no encontró diferencias entre tratamientos, mientras que Galindo et al., (2018) reportaron un pH mayor en sistemas silvopastoriles (6,78) con respecto al control (6,37). Esto demuestra que la suplementación no afectó la estabilidad del ambiente ruminal, por el contrario, favoreció condiciones adecuadas para la actividad de bacterias celulolíticas.

Fisiológicamente, Van Soest (1994) describe que un pH entre 5,8 y 6,8 permite un adecuado metabolismo de la fibra y de la síntesis de proteína microbiana. Además la fibra efectiva presente en T. diversifolia la cual ayuda a estimular la rumia y la producción de saliva, cuyo sistema actua como tampón del rumen. Por tanto, cuando la arbustiva es incorporada en niveles moderados y dentro de dietas balanceadas, contribuye a mantener la homeostasis ruminal.

En contraste, Ananta et al., (2025) registró una disminución progresiva del pH hasta 4,25 al aumentar la inclusión de T. diversifolia. Sin embargo, dicho comportamiento corresponde a un estudio *in vitro*, donde no hay la presencia de mecanismos fisiológicos de regulación como lo es la saliva, la absorción de AGV y la tasa de pasaje ruminal. Por lo cual, estos resultados representan el potencial fermentativo del sustrato pero no deben extrapolarse directamente a vacas en lactancia.

Nitrógeno amoniacal (NH_3-N)

Las concentraciones de NH_3-N se vieron incrementadas conforme aumentaba la inclusión de T. diversifolia, estudios como Galindo et al., (2018) registraron mayores concentrasiones para

SSP, mientras que autores como Ananta et al., (2025) reportaron un incremento lineal del amonio conforme se incrementaba el porcentaje de inclusión (Tabla3).

Dicho resultado se explica por el elevado contenido de proteina cruda presente en la arbustiva, la cual proporciona una gran cantidad de nitrógeno degradable para la microbiota ruminal. Según Mauricio, (2017) el amonio es el principal sustrato para la producción de proteína microbiana, siempre que haya suficiente energía fermentable disponible en la dieta. Por lo tanto el incremento de NH_3-N puede indicar una mayor disponibilidad de nitrogeno utilizado por los microorganismos del rumen pero no necesariamente indica una mayor eficiencia de utilización.

Según Dijkstra et al., (2020) cuando la liberación de amonio es superior a la de carbohidratos fermentables disponibles, el exceso es absorbido y convertido en urea en el hígado, aumentando las pérdidas de nitrógeno y el costo energético para el animal. Además Mizrahi et al., (2021) explica que la respuesta depende del equilibrio entre proteína y energía de la dieta, y no únicamente del contenido proteico del suplemento.

Ácidos grasos volátiles (AGV)

Los AGV son el pilar energético principal en el metabolismo del ganado lechero, funcionan como un indicador de la actividad metabólica a nivel ruminal. El cuanto al total de AGV Ribeiro et al., (2016) no encontró diferencias significativas al incorporar T. diversifolia en una dosis de hasta el 15,4 %, a diferencia de estudios *in vitro* como Terry et al., (2016) y Ananta et al., (2025) quienes registraron un incremento de la concentración de AGV conforme se ncrementó la porción de la arbustiva.

Las diferencias encontradas entre los estudios pueden atribuirse al tipo de dieta evaluada. Ribeiro et al., (2016) identificó que la suplementación puede llegar a sustituir de manera parcial los ingredientes de una ración total mezclada, llegando a mantener un aporte energético similar entre tratamientos. En cambio, estudios *in vitro* en los cuales se incrementó la proporción de forraje como sustrato fermentable se identificó una mayor producción de AGV.

En base al perfil de los AGV, Terry et al., (2016) evidenció un aumento progresivo del acetato y butirato a medida que incrementó la inclusión de Tithonia diversifolia además de registrar una disminución del propionato. En contraste, Holguín et al., (2020) también registró cambios en el perfil fermentativo tras la inclusión del 33 % de T. diversifolia, con una disminución en las concentraciones de acetato, propionato y butirato respecto al control. Estas diferencias sugieren que los AGV no dependen únicamente del suplemento, sino también de la forma de suministro, la composición del sustrato y las condiciones experimentales, dado que los 2 estudios fueron *in vitro* pero emplearon materiales y sistemas de fermentación distintos.

Emisiones de metano entérico e in vitro

La inclusión de T. diversifolia sobre la metanogénesis mostró multiples variaciones dependiendo de la metodología (*in vivo vs in vitro*) y presentación del suplemento. En condiciones *in vivo* Ribeiro et al., (2016) evaluó hasta un 15,4 % de inclusión en vacas lactantes sin encontrar

cambios significativos (*P > 0,05*) en la emisión diaria de metano. Por otra parte Galindo et al., (2018) registró una disminución en la emisión de metano (36,93 g/Kg MO en SSP vs 37,63 g/Kg MO en control) estimada por Kg de materia organica (MO) consumina en un sistema silvopastoril, además de evaluar la población de arqueas metanógenas las cuales se vieron disminuidas con la inclusión de la arbustiva (Tabla 4).

En los estudios *in vitro* Holguín et al., (2020) reportó una disminusión significativa en la emisión de metano al incluir 33 % de T. diversifolia en forma de ensilaje en comparación con un ensilaje puro de gramineas. En contraste Terry et al., (2016) registro un incremento cuadrático (*P* > 0,0001) en la emisión de CH_4 por g de materia seca incubada al sustituir con T. diversifolia la caña de azucar y el concentrado. Por último Ananta et al., (2025) reportó un incremento total del gas producido al incrementar la inclusión de la arbustiva hasta un 75% con respecto al control (Tabla 4).

Tabla 4

Efecto de la inclusion de tithonia diversifolia sobre las emisiones de metano (CH4) entérico e invitro

Autor	Tipo de estudio	Inclusión TD	Emisión CH_4	Unidad	Respuesta/ Tendencia en emisiones
Ribeiro et al., (2016)	*In vivo*	0 % 6.5 % 15.4 %	365,7 380,8 409,8	g/día	Sin efecto significativo (P > 0,05). Mantiene emisiones estables.
Galindo et al., (2018)	*In vivo*	SPS Control	36,93 37,63	g/kg de MO	Reducción de las arqueas metanógenas y tendencia a menor emisión.
Terry et al., (2016)	*In vitro*	0 % 6.9 % 15.2 % 29.2 %	0,53 0,72 1,17 3,29	ml/ g MS incubada	Aumento cuadrático (P < 0,0001) al sustituir concentrado por forraje.
Holguín et al., (2020)	*In vitro*	0 % 33 %	2,43 ± 1,1 1,53 ± 0,9	mmol/g MS	Reducción significativa (P < 0,05) de la metanogénesis.
Ananta et al., (2025)	*In vitro*	0 TD % 25 TD % 50 TD % 75 TD % 100 PM %	No evaluó CH_4 directo (Gas total: 40,3 a 68,5)	ml	Aumento del gas total por mayor digestibilidad del sustrato.

Nota: TD: Tithonia diversifolia CH_4: Metano MO: Materia orgánica MS: materia seca

Los resultados sobre la emisión de metano (CH_4) evidenciaron un contraste metodológico entre los autores evaluados. Por un lado, Galindo et al., (2018) y Holguín et al., (2020) mantienen que la inclusión de *Tithonia diversifolia* actúa como un mitigador eficaz de la metanogénesis ruminal. Sin embargo, Galindo et al., (2018) atribuyen dicho resultado a una acción microbiológica directa, donde la presencia de la arbustiva en sistemas silvopastoriles redujo a la mitad la población de arqueas metanógenas y disminuyó los protozoos ciliados. Esta postura se alinea con lo argumentado por Holguín et al., (2020), quienes demostraron in vitro una menor emisión de CH_4 por gramo de materia seca al incorporar *T. diversifolia* en forma de silo, sustentando que los taninos condensados (1,0 % a 1,4 %) y las saponinas presentes en el forraje ejercen un efecto antiprotozoario que interrumpe la simbiosis bacteriana y restringe la disponibilidad de H_2 libre para la síntesis de metano.

Contrario a esta perspectiva Terry et al., (2016) reportó un incremento cuadrático en la producción de CH_4 a medida que aumentó la inclusión de la arbustiva. Sin embargo, al estudiar críticamente sus condiciones experimentales, se observó que este resultado responde a que los autores sustituyeron insumos concentrados y fuentes de energía de fácil fermentación (caña de azúcar) por la arbustiva. Desde un punto fisiológico reemplazar carbohidratos solubles por un forraje verde rico en fibra desplaza la fermentación hacia una ruta mayoritariamente acética. Dado que la síntesis de acetato libera exceso de CO_2 y H_2 se genera un ambiente propicio para que las arqueas remanentes incrementen la metanogénesis, lo que explica el resultado divergente de Terry et al., (2016) frente a lo reportado en sistemas forrajeros puros.

Por otra parte, Ribeiro et al., (2016) aporta una postura intermedia al no registrar cambios estadísticos significativos en las emisiones diarias de CH_4 en vacas lecheras con inclusiones de hasta 15,4 %. Esta estabilidad demuestra que, en raciones equilibradas la arbustiva no altera de forma negativa la huella de carbono absoluta del animal, un hallazgo que contrarresta la alarma sobre el aumento de gas sugerido en modelos in vitro de sustitución energética drástica.

A partir de estas evidencias, mi criterio sugiere que *T. diversifolia* debe evaluarse bajo el concepto de intensidad de emisión (g de CH_4/Kg de leche) y no únicamente por la emisión volumétrica absoluta. Aunque la presencia de metabolitos secundarios no elimine la metanogénesis en dietas balanceadas, el aporte proteico de la especie (11,66 % a 26,51 %) ayuda a optimizar la digestibilidad global y el aprovechamiento del nitrógeno. Por lo cual mejora el rendimiento productivo del animal, reduciendo la cantidad de metano emitido por unidad de producto final, consolidándose como una alternativa biológicamente eficiente y sostenible para la ganadería tropical.

Viabilidad económica al incluir *T. diversifolia* en la dieta

La viabilidad económica en la ganadería lechera al incluir Tithonia diversifolia ha mostrado ser positiva en las diversas metodologias y formas de procesamiento (heno, harina, forraje fresco y ensilaje). Multiples estudios coniciden que T. diversifolia actua como un susutituto parcial efectivo de los concentrados comerciales o suplementos tradicionales, reduciendo los costos de alimentaciónsin sin castigar la respuesta fisiológica del animal.

Algunas investigaciones como Arias et al., (2018) mostraron que con una susutitución del 25% de alimento balanceado los costos se redujeron en un 9,06 % llegando a ahorrar 0,25 USD/vaca/día con una producción de leche (21,4 kg/vaca/día) similar al control, al llevar la sustitución al 50 % se producjo una reducción de los costos de hasta 0,52 USD pero a expensas de un descenso de 8 al 11% del volumen total de leche. Esto contrasta con otros registros de Gallego et al., (2017) y Rodríguez & Aguilar J., (2025) quienes al utilizar una inclusión de 15 % y 12,5 % respectivamente no observaron caidas en la producción de leche, logrando un efecto positivo en la relación beneficio/costo.

Se observó también la influencia que tiene la forma de suministro, (Angulo et al., 2021) demostró en sus estudios que en ensilaje de T. diversifolia redujo en un 4,5 % el costo diario de suplementación a diferencia del silo de maiz, ademas de mejorar la eficiencia alimenticia 1,34 kg/leche/kg MS con respecto al silo de maiz (1,26 kg/leche/kg MS) mostrando un impacto positivo estimando un ahorro de 281 USD en un hato de 50 vacas. Por otra parte Katongole et al., (2016) mostró que en condiciones más drasticas del tropico bajo en epoca seca la henificación combinada con residuos agrícolas fue la única estrategia capaz de arrojar un beneficio financiero neto positivo, lo que posiciona a la planta como un amortiguador económico ante la escasez de forraje.

Con respecto a los resultados presentados en los multiples estudios se debe considerar que los insumos y precios de venta de la leche varían de manera amplia entre países, regiones y epocas del año. Las materias primas convencionales (maíz, soya, concentrados comerciales) están sujetas a la volatilidad de los mercados internacionales y a los costos de transporte. Por lo cual aunque los ahorros absolutos expresados en dólares por Arias et al., (2018) y Rodríguez & Aguilar J., (2025)) sirven como referencia, el verdadero valor de T. diversifolia radica en su capacidad de reemplazar proteica y energéticamente a los insumos comerciales utilizando recursos producidos en la propia finca. En escenarios donde el precio del concentrado sube o el pago por litro de leche disminuye, la tasa de retorno financiero de la Tithonia se incrementa proporcionalmente.

CONCLUSIÓN

Con base en la evidencia analizada en esta revisión sistemática, se concluye que Tithonia diversifolia es un suplemento forrajero con alto valor nutricional y funcional para vacas en lactancia en sistemas de producción lechera tropical debido a sus efectos positivos sobre la fermentación ruminal, la productividad y la sostenibilidad. La fermentación ruminal no se ve afectada manteniendo el pH dentro de rangos fisiológicos (6.2–6.78) gracias a su aporte de FDN efectiva y favorece la síntesis de proteína microbiana al incrementar el nitrógeno amoniacal (NH_3-N) por su elevado contenido de proteína cruda (11.66–26.51 %), siempre que exista un adecuado balance con fuentes energéticas. En la productividad las inclusiones moderadas (6.5 - 25 % de la dieta) permiten sustituir parcialmente concentrados o gramíneas sin afectar la producción ni la composición de la leche, mientras que en sistemas silvopastoriles intensivos y ensilajes se registran incrementos de hasta 13.46 % en la producción y mejoras en la proteína láctea; en contraste, inclusiones iguales o superiores al 50 % generan efecto de llenado ruminal y reducen la producción de leche. En cuanto a la sostenibilidad, los taninos condensados y saponinas modulan la microbiota ruminal, disminuyendo arqueas metanógenas y protozoos ciliados, lo que reduce la intensidad de emisión de metano por kilogramo de leche y mejora la eficiencia del uso del nitrógeno, disminuyendo su excreción al ambiente. Además, su uso reduce la dependencia de concentrados comerciales, genera ahorros de hasta 9.06 % en los costos de suplementación y

mejora la relación beneficio/costo, consolidándose como una alternativa económicamente viable y ambientalmente sostenible para los sistemas lecheros tropicales.

REFERENCIAS

Ananta, D., Rahma, N., Meidita, F., & Pratama, Y. (2025). Silage Formulation Based on Tithonia diversifolia and Panicum maximum: In Vitro Fermentation Evaluation for Tropical Feeding Systems. *Andalasian Livestock*, *2*(2), 144–151. https://doi.org/10.25077/alive.v2.n2.p144-151.2025

Angulo, A., Cobos, J., Ochoa, A., & Ledesma, S. (2021). Producción, calidad de leche y análisis ecnómico de vacas holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (Tithonia diversifolia) o ensilaje de maíz. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *20*(1), 27–40. https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1535

Arias, L., Alpízar, A., Castillo, M., Camacho, M., Arronis, V., & Padilla, E. (2018). *Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey*. *Vol. 41*.

Cardona, J. L., Angulo, J., & Mahecha, L. (2022). Less nitrogen losses to the environment and more efficiency in dairy cows grazing on silvopastoral systems with Tithonia diversifolia supplemented with polyunsaturated fatty acids. *Agroforestry Systems*, *96*(2), 343–357. https://doi.org/10.1007/s10457-021-00722-7

Dijkstra, J., Van Gastelen, S., Dieho, K., Nichols, K., & Bannink, A. (2020). Review: Rumen sensors: Data and interpretation for key rumen metabolic processes. *Animal*, *14*(S1), S176–S186. https://doi.org/10.1017/S1751731119003112

Galindo, J., Rodríguez, I., González, N., García, R., & Herrera, M. (2018). *Silvopastoral system with Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray: effect on the rumen microbial population of cows* (Vol. 41, Number 4).

Gallego, L., Machecha, L., & Angulo, J. (2014). *Potencial forrajero de Tithonia diversifolia Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras*.

Gallego, L., Mahecha, L., & Angulo, J. (2017). Producción, calidad de leche y beneficio:costo de suplementar vacas holstein con Tithonia diversifolia. *Agronomía Mesoamericana*, *28*(2), 357. https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945

Holguín, V. A., Cuchillo, M., Mazabel, J., Quintero, S., & Mora, J. (2020). Effect of a Pennisetum purpureum and Tithonia diversifolia silage mixture on in vitro ruminal fermentation and methane emission in a RUSITEC system. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, *11*(1), 19–37. https://doi.org/10.22319/RMCP.V11I1.4740

Huws, S. A., Creevey, C. J., Oyama, L. B., Mizrahi, I., Denman, S. E., Popova, M., Muñoz-Tamayo, R., Forano, E., Waters, S. M., Hess, M., Tapio, I., Smidt, H., Krizsan, S. J., Yáñez-Ruiz, D. R., Belanche, A., Guan, L., Gruninger, R. J., McAllister, T. A., Newbold, C. J., … Morgavi, D. P. (2018). Addressing global ruminant agricultural challenges through understanding the rumen microbiome: Past, present, and future. In *Frontiers in*

Microbiology (Vol. 9, Number SEP). Frontiers Media S.A. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02161

Katongole, C., Kabirizi, J., Nanyeenya, W., Kigongo, J., & Nviiri, G. (2016). Milk yield response of cows supplemented with sorghum stover and Tithonia diversifolia leaf hay diets during the dry season in northern Uganda. *Tropical Animal Health and Production*, *48*(7), 1463–1469. https://doi.org/10.1007/s11250-016-1119-1

Mauricio R. (2017). Feeding ruminants using Tithonia diversifolia as forage. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*, *5*(4). https://doi.org/10.15406/jdvar.2017.05.00146

Meza, G., Meza, C., Avellaneda, J., Godoy, L., Barros, M., & Jines, F. (2022). In vitro ruminal degradation of Tithonia diversifolia. *Agronomia Mesoamericana*, *33*(1). https://doi.org/10.15517/am.v33i1.43206

Michael, P., Cruz, C. R. De, Nor, N. M., Jamli, S., & Meng, G. Y. (2022). The potential of using temperate–tropical crossbreds and agricultural by-products, associated with heat stress management for dairy production in the tropics: A review. *Animals*, *12*(1). https://doi.org/10.3390/ani12010001

Mizrahi, I., Wallace, R. J., & Moraïs, S. (2021). The rumen microbiome: balancing food security and environmental impacts. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 19, Number 9, pp. 553–566). Nature Research. https://doi.org/10.1038/s41579-021-00543-6

Montoya, J., & Vallejo, D. (n.d.). *Nitrógeno Ureico en leche: fundamental en el manejo de fincas especializadas*.

Paniagua, L. D., Arias L., Alpizar, A., Castillos, M., Camacho, M. I., Padilla, J. *, & Campos, M. (2020). *Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la pro*. https://orcid.org/0000-0003-

Ribeiro, R. S., Terry, S. A., Sacramento, J. P., Silveira, S. R. E., Bento, C. B. P., Da Silva, E. F., Mantovani, H. C., Da Gama, M. A. S., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Maurício, R. M., & Chaves, A. V. (2016a). Tithonia diversifolia as a supplementary feed for dairy cows. *PLoS ONE*, *11*(12). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751

Ribeiro, R. S., Terry, S., Sacramento, J., Silveira, S., Bento, C., Da Silva, E., Mantovani, H., Da Gama, M., Pereira, L., Tomich, T., Maurício, R., & Chaves, A. (2016b). Tithonia diversifolia as a supplementary feed for dairy cows. *PLoS ONE*, *11*(12). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751

Rivera, J., Villegas, G., Chará, J., Durango, S., Romero, M. ., & Verchot, L. (2022). Effect of Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray intake on in vivo methane (CH4) emission and milk production in dual-purpose cows in the Colombian Amazonian piedmont. *Translational Animal Science*, *6*(4). https://doi.org/10.1093/tas/txac139

Rodríguez, E. H., & Aguilar J. (2025). *Experiencias de innovación en la investigación universitaria: uso de tecnologías emergentes para el agro y la ganadería*.

Ruíz, T. E., Febles, G. J., Galindo, J. L., Savón, L. L., Chongo, B. B., Torres, V., Cino, D. M., Alonso, J., Martínez, Y., Gutiérrez, D., Crespo, G. J., Mora, L., Scull, I., La, O., González, J., Lok, S., González, N., & Zamora, A. (2014). Tithonia diversifolia, its possibilities in cattle rearing systems. In *Cuban Journal of Agricultural Science* (Vol. 48, Number 1).

Terry, S. A., Ribeiro, R. S., Freitas, D. S., Delarota, G. D., Pereira, L. G. R., Tomich, T. R., Maurício, R. M., & Chaves, A. V. (2016). Effects of Tithonia diversifolia on in vitro methane production and ruminal fermentation characteristics. *Animal Production Science*, *56*(3), 437–441. https://doi.org/10.1071/AN15560

Van Soest, P.J. (1994) Nutritional Ecology of Ruminants. 2nd Edition, Cornell University Press, Ithaca, London, 476. https://doi.org/10.7591/9781501732355