

Efecto de la *Tithonia diversifolia* en la alimentación de cabras en el trópico.

Effect of *Tithonia diversifolia* on goat feeding in the tropics.

Oscar Eduardo Barbosa Sandoval

ORCID

<https://orcid.org/0009-0000-1599-3955>

Stefany Vergel Medina

ORCID

<https://orcid.org/0009-0004-4687-3701>

Johann Fernando Hoyos Patiño

Resumen

La producción de caprinos dentro del contexto del trópico tiene que ver con la variabilidad existente en la disponibilidad y calidad del forraje, lo cual repercute sobre el consumo, eficacia alimentaria y continuidad de la producción. En este sentido la *Tithonia diversifolia* aparece como una alternativa forrajera con alto potencial, dada su rápida capacidad de crecimiento, su valor nutritivo y su adaptación a las condiciones del trópico. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia existente sobre el uso de esta forrajera, específicamente en lo que respecta al consumo de materia seca, digestibilidad, salud ruminal e indicadores productivos. La revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo los lineamientos del PRISMA, consultando las bases de datos académicos entre 2014 y 2025 y aplicando criterios de inclusión que tuvieran que ver con la ejecución de estudios en caprinos y la publicación de los mismos en revistas indexadas. Los resultados muestran que la *T. diversifolia* puede ser capaz de mejorar el aporte proteico, favorecer la fermentación ruminal y mantener o aumentar el desempeño productivo, aunque los efectos dependen del tipo y la proporción de inclusión y del tipo de dieta base. Hacen falta más estudios en condiciones específicas del trópico y en razas caprinas criollas de la región.

Palabras claves:

Alimentación caprina, digestibilidad, forraje, metabolismo, producción.

Abstract

Goat production in the tropics is affected by variability in forage availability and quality, which has an impact on consumption, feed efficiency, and production continuity. In this regard, *Tithonia diversifolia* appears to be a forage alternative with high potential, given its rapid growth capacity, nutritional value, and adaptation to tropical conditions. The objective of this review was to analyze the existing evidence on the use of this forage, specifically with regard to dry matter consumption, digestibility, ruminal health, and production indicators. The systematic review was conducted following the PRISMA guidelines, consulting academic databases between 2017 and 2025 and applying inclusion criteria related to the execution of studies in goats and their publication in indexed journals. The results show that *T. diversifolia* may be capable of improving protein intake, promoting ruminal fermentation, and maintaining or increasing productive performance, although the effects depend on the type and proportion of inclusion and the type of base diet. Further studies are needed under specific tropical conditions and in native goat breeds in the region.

Keywords:

Goat nutrition, digestibility, forage, metabolism, production.

Introducción

La ganadería caprina en zonas tropicales tiene un alto grado de dependencia de forrajes de escasa calidad nutricional, lo que conlleva que el potencial de su producción esté condicionado y que los gastos de productos compuestos destinados a la alimentación aumenten (Rodríguez-Segura et al. 2025). En armonía con lo previamente expuesto, el uso de fuentes de forraje alternativas ha comenzado a despertar interés, sobre todo por especies arbustivas, y de elevado contenido proteico, adaptadas a tales condiciones como la *Tithonia diversifolia*, cultivada de forma ubicua y característica por su alta adaptabilidad y composición (Ruiz et al., 2014; Mejía-Díaz et al., 2017). Su mayor grado de proteína cruda y su aceptabilidad han hecho que se realicen varias evaluaciones en rumiantes menores en sistemas tropicales (Elizondo-Salazar, 2021).

La utilización de *T. diversifolia* ha sido relacionada con aumentos en el nivel de consumo total de materia seca, incrementos en la digestibilidad de los nutrientes y una respuesta en la calidad composicional de la leche en cabras lecheras (Rodríguez-Segura et al., 2025; Gallego-Castro et al., 2017). Además, la efectividad de *T. diversifolia* en ovinos y bovinos muestra que pueden existir beneficios asociados a la alteración de la fermentación ruminal y atenuación de metano, debidos a la presencia de metabolitos secundarios (taninos, saponinas) (Castaño-Jiménez et al., 2023; Hernández-Arboleda et al., 2024), lo que convierte a la *T. diversifolia* en un recurso potencial estratégico para la alimentación en sistemas tropicales.

A pesar de los adelantos, la evidencia vigente, aunque pueda ser extensa, presenta carencias relacionadas con el hecho de que existen diferencias en los métodos de evaluación, en razas, en las condiciones edafoclimáticas y en los métodos de elaborar el forraje (Pineda Chapetón, 2020; Salazar, 2021). Asimismo, la mayoría de los conocimientos disponibles a partir de estudios con cabras en trópico alto provienen de Costa Rica y no han sido validados en razas caprinas locales colombianas, lo que hace que se tenga incertidumbre sobre su aplicación (Rodríguez-Segura et al., 2025). Dicha variabilidad y los vacíos sobre los efectos metabólicos y el rendimiento a largo plazo justifican la necesidad de una síntesis sistemática que conduzca a obtener la información científica necesaria para la toma de decisiones técnicas.

La evidencia sobre el uso de *T. diversifolia* en cabras es amplia pero dispersa, lo que dificulta identificar conclusiones integrales sobre su impacto nutricional, productivo y sanitario en el trópico. Por ello surge la necesidad de determinar de manera sistemática los efectos de esta especie en pequeños rumiantes. La pregunta de investigación planteada fue: ¿cuáles son los efectos de *Tithonia diversifolia* sobre el consumo, la digestibilidad, la salud ruminal y la aplicabilidad en sistemas caprinos del trópico? El objetivo general fue sintetizar la evidencia científica disponible sobre el uso de *T. diversifolia* en cabras en condiciones tropicales. Los objetivos específicos fueron: (1)

evaluar su efecto sobre el consumo y la digestibilidad, (2) analizar su impacto sobre la salud ruminal y parámetros metabólicos, y (3) identificar la aplicabilidad y vacíos de investigación en sistemas tropicales caprinos.

Metodología

La presente revisión fue diseñada como una revisión sistemática / mapeo sistemático, con el fin de compilar, clasificar y sintetizar la evidencia sobre *Tithonia diversifolia* en rumiantes menores en el trópico. Para asegurar transparencia, exhaustividad y reproducibilidad, se adoptaron los lineamientos establecidos por PRISMA 2020 como marco metodológico de referencia (Page et al., 2021). Este marco guía la identificación, selección, evaluación y síntesis de estudios, permitiendo un reporte claro y estructurado de todo el proceso.

Estrategia de búsqueda y selección

La búsqueda se realizó en bases de datos académicas (Scopus, Web of Science, SciELO) y en repositorios institucionales; además, se utilizó un motor de búsqueda asistido por IA para asistir en la localización de fuentes adicionales, ampliar la cobertura de la búsqueda y facilitar la identificación de literatura gris o de difícil acceso, una estrategia válida cuando se requiere exhaustividad en contextos con publicaciones dispersas.

El proceso de selección de documentos se desarrolló en dos etapas complementarias: Inicialmente se partió de 10 referencias núcleo que cumplieran criterios de relevancia (tema, año, especie), luego con ayuda del motor IA se generaron nuevas búsquedas que sumaron hasta 50 documentos adicionales; tras cribado por título/resumen y revisión a texto completo, finalmente se seleccionaron 27 fuentes en total (en español, inglés y portugués), priorizando para el análisis las de idioma español por ser las más numerosas.

Se definieron criterios de inclusión/exclusión explícitos: estudios empíricos con rumiantes (preferentemente caprinos) sobre uso de *T. diversifolia* en la dieta, con resultados cuantitativos sobre consumo, digestibilidad, producción, fermentación ruminal o emisiones; publicados entre 2014 y 2025; en revistas indexadas, tesis o documentos técnicos con texto completo; en idioma español, inglés o portugués. Estos criterios aseguran la pertinencia y calidad mínima de los estudios incluidos.

Proceso de selección y reporte

El flujo de selección siguió un esquema basado en PRISMA: identificación → eliminación de duplicados → cribado por título/resumen → lectura de resumen → selección final. Se planifica presentar el correspondiente diagrama PRISMA con los números reales de cada fase, garantizando la trazabilidad del proceso. Esta práctica es esencial para mantener la claridad

metodológica y permitir que otros investigadores repliquen el proceso si lo desean (Page et al., 2021).

Extracción, clasificación y síntesis de datos

Cada estudio incluido fue analizado y los datos se extrajeron en una matriz estructurada con campos: autor/año, país, especie/sistema, forma de uso de *T. diversifolia* (fresco, henificado, ensilado, concentrado), proporción en la dieta, variables medidas (consumo de materia seca, digestibilidad, producción de leche/peso, parámetros ruminales, emisiones, entre otros), diseño del estudio y principales hallazgos. Esta estrategia de tabulación permite organizar sistemáticamente la información para su comparación y síntesis.

Dada la heterogeneidad metodológica de los estudios (diferentes especies, condiciones, presentación del forraje, variables evaluadas), la síntesis se realizó mediante un análisis narrativo-categorial, agrupando los hallazgos según las preguntas guía definidas. Este enfoque es adecuado cuando los estudios son diversos y no permiten un meta-análisis cuantitativo (Page et al., 2021).

Definición de las preguntas de investigación para la revisión.

P1: ¿Cómo afecta la inclusión de *Tithonia diversifolia* en la dieta de cabras en sistemas de producción del trópico al consumo de materia seca, digestibilidad de nutrientes y ganancia de peso o producción (leche o carne)?

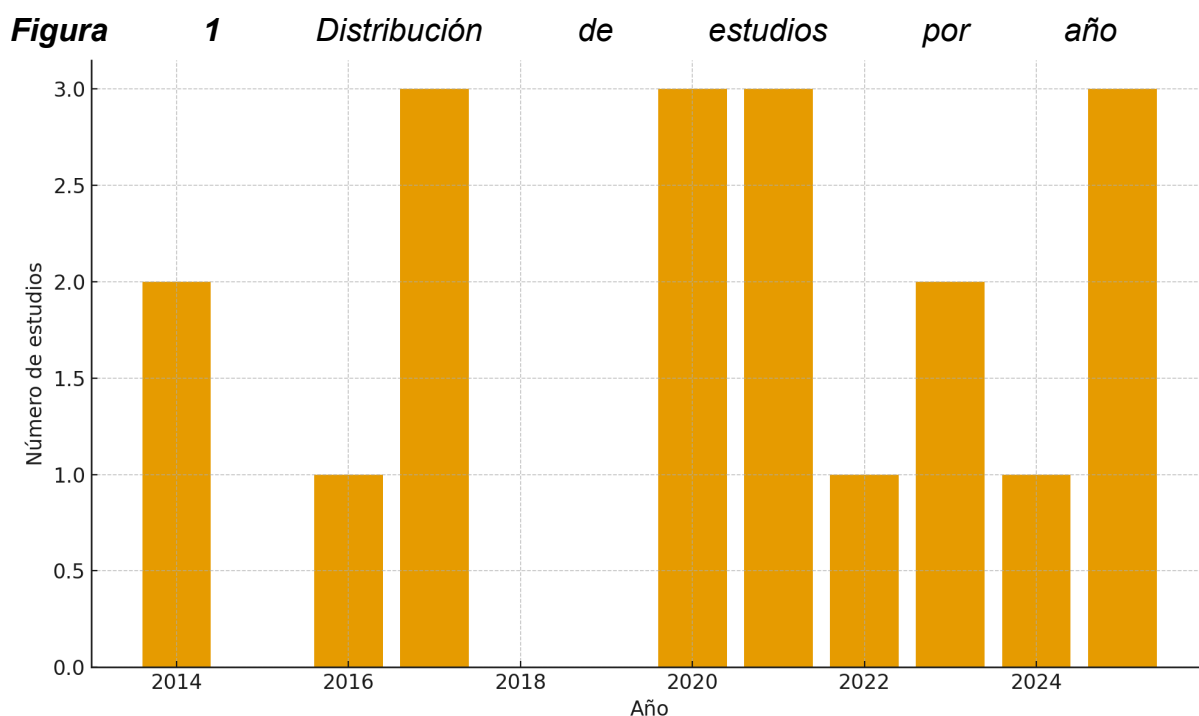
P2: ¿Qué efectos sobre parámetros de salud (metabólicos, hemáticos, fermentación ruminal, emisiones de metano) se han observado en pequeños rumiantes (cabras o similares) alimentados con *T. diversifolia* en condiciones tropicales?

P3: ¿En qué medida los resultados disponibles para *T. diversifolia* en cabras son aplicables a sistemas de producción en Colombia (altitud, clima, razas locales) y cuáles son las lagunas específicas de investigación para dicho contexto?

Resultados

La revisión sistemática permitió identificar inicialmente 53 registros, de los cuales 19 cumplieron con los criterios de inclusión definidos (especie caprina o pequeños rumiantes, relación directa con *Tithonia diversifolia*, disponibilidad en texto completo, publicación en revistas indexadas entre 2014 y 2025). Las publicaciones muestran una tendencia creciente a partir de 2017, coincidiendo con el aumento del interés por sistemas forrajeros alternativos en el trópico. Entre 2020 y 2025 se concentra más del 50% de la producción científica, especialmente con énfasis en digestibilidad, efectos metabólicos y emisiones de metano.

La distribución anual de publicaciones se presenta en la **Figura 1**. Este comportamiento sugiere que la investigación en *T. diversifolia* se encuentra en consolidación y que los estudios con cabras son una línea emergente, especialmente en países tropicales.



Pregunta 1. Efectos sobre consumo, digestibilidad y producción

Los resultados muestran que la inclusión de *T. diversifolia* en dietas caprinas incrementa el consumo de materia seca (CMS) cuando reemplaza parcialmente al alimento balanceado. En cabras Saanen, el CMS aumentó de 1.58 kg/día (control) a 1.73 kg/día con 25% de inclusión (Rodríguez-Segura et al., 2025). Este incremento se atribuye a un menor contenido de FDN (42.5%) respecto a gramíneas tropicales como *Pennisetum purpureum* (48.7%), lo cual mejora la tasa de pasaje y disponibilidad energética (Allen, 1996; Rodríguez-Segura et al., 2025). En digestibilidad, estudios en cabras y ovinos muestran valores altos de DIVMS, entre 73% y 89% (Cadena-Villegas et al., 2020). La alta proteína cruda (20–27%) y la estructura celular del forraje favorecen la actividad microbiana celulolítica, aumentando la digestibilidad de la fibra (Gallego-Castro et al., 2017)

En producción de leche, la suplementación con 25% de *T. diversifolia* mantuvo el rendimiento (2.22 kg/día), mientras que la inclusión al 50% redujo la producción (2.05 kg/día), asociada al efecto de llenado por humedad (Rodríguez-Segura et al., 2025). Sin embargo, la calidad aumentó, destacando grasa (4.43%), proteína (3.02%) y sólidos totales (12.39%).

Pregunta 2. Efectos sobre parámetros de salud, fermentación ruminal y emisiones

Los estudios demuestran que *T. diversifolia* modula la fermentación ruminal mediante la reducción de emisiones de metano y la mejora de la eficiencia del nitrógeno. En fermentación simulada, el metano disminuyó de 2.43 mmol/g MS (control) a 1.36 mmol/g MS con 100% de TD (Holguín Castaño, 2016). Esto se relaciona con taninos y saponinas en bajas concentraciones (1–1.4%), suficientes para alterar la actividad metanogénica sin afectar el consumo (Gallego-Castro et al., 2017).

En la dinámica ruminal, el $\text{NH}_3\text{-N}$ disminuye cuando se incluye TD, sugiriendo una mayor captura de nitrógeno para síntesis microbiana (Holguín Castaño, 2016). El perfil de AGV se mantiene estable, pero el butirato se reduce, indicador de menor pérdida energética asociada a metanogénesis (Holguín Castaño, 2016).

En salud metabólica indirecta, los cambios más notorios se observan en la calidad de leche, indicando buena eficiencia proteica (Rodríguez-Segura et al., 2025). No se reportan estudios con parámetros hemáticos directos en cabras.

Pregunta 3. Aplicabilidad a sistemas colombianos y vacíos de investigación

El potencial de *T. diversifolia* es alta en Colombia debido a su amplia adaptación (0–2200 msnm) y respuesta consistente en rumiantes tropicales. Los estudios colombianos muestran beneficios en producción y disminución de metano en vacas doble propósito (Rivera et al., 2022).

Limitaciones identificadas:

Razas locales: no existen estudios en caprinos criollos colombianos.

Procesamiento del forraje: el alto contenido de humedad limita el CMS en cabras lecheras.

Mitigación de CH_4 en caprinos: falta evaluación in vivo.

Datos a largo plazo: estudios < 70 días no permiten evaluar impactos reproductivos y económicos.

Discusión

Los resultados de esta revisión confirman que *Tithonia diversifolia* posee un alto potencial como recurso forrajero estratégico en sistemas caprinos tropicales. El incremento del CMS observado concuerda con lo reportado por Rodríguez-Segura et al. (2025), quienes atribuyen este efecto al menor contenido de FDN del forraje. Esta tendencia también se refleja en estudios de ovinos y bovinos donde la digestibilidad mejora significativamente con la inclusión de TD (Cadena-Villegas et al., 2020; Gallego-Castro et al., 2017). La consistencia en estos hallazgos sugiere que el comportamiento nutricional del forraje es predecible en diferentes especies rumiantes.

En términos de salud ruminal, la reducción del metano entérico descrita por Holguín Castaño (2016) refuerza su valor ambiental, coincidiendo con hallazgos en vacas doble propósito del Amazonas colombiano (Rivera et al., 2022). La modulación de $\text{NH}_3\text{-N}$ y del perfil de AGV indica un uso más eficiente del nitrógeno, elemento clave para la productividad caprina, y sustenta su papel como suplemento estratégico en sistemas intensificados o basados en pasturas tropicales.

No obstante, la variabilidad en los resultados productivos, especialmente cuando aumenta la proporción del forraje fresco, sugiere que el contenido de humedad representa una limitante fisiológica importante, como lo menciona Elizondo-Salazar (2021). Además, la ausencia de estudios en razas criollas colombianas impide interpretar plenamente la aplicabilidad local. Esta revisión evidencia también la necesidad de estudios a largo plazo que permitan evaluar efectos acumulativos en reproducción, eficiencia económica y sostenibilidad ambiental.

El Efecto de *Tithonia diversifolia* (Botón de Oro) en la Nutrición Caprina Tropical: Un Análisis Exhaustivo de la Producción, Digestibilidad y Sostenibilidad

1. ¿Cómo afecta la inclusión de *Tithonia diversifolia* en la dieta de cabras en sistemas de producción del trópico al consumo de materia seca, digestibilidad de nutrientes y ganancia de peso o producción (leche, carne)?

Impacto sobre el Consumo de Materia Seca (CMS)

La inclusión de *T. diversifolia* en dietas para cabras lecheras, sustituyendo parcialmente el alimento balanceado, generalmente resulta en un aumento significativo del consumo total de materia seca (CMS) (Rodríguez-Segura et al., 2025). En un estudio que evaluó la sustitución del AB en cabras Saanen, el tratamiento control (T0), que no incluyó *T. diversifolia*, registró un CMS total de 1.58 kg/cabra/día, mientras que los tratamientos con suplementación

mostraron valores más altos: 1.73 kg/cabra/día para el 25% de sustitución (T25) y 1.67 kg/cabra/día para el 50% de sustitución (T50) (Rodríguez-Segura et al., 2025). Estos valores representan un consumo de hasta el 3.14 % del peso vivo de las cabras (Rodríguez-Segura et al., 2025).

El incremento en el CMS se atribuye a la alta calidad nutricional de *T. diversifolia* en comparación con la dieta base de pasto (como Pennisetum purpureum), que en el estudio tuvo un contenido superior de Fibra Detergente Neutro (FDN), un factor que se relaciona inversamente con el CMS (Allen, 1996, citado en Rodríguez-Segura et al., 2025; 2024). El P. purpureum en la dieta base presentó un 48.7% de FDN, mientras que *T. diversifolia* presentó un 42.5 % de FDN (Rodríguez-Segura et al., 2025).

Sin embargo, a niveles más altos de inclusión, se observa una atenuación en el aumento del consumo. El CMS total del tratamiento T50 fue numéricamente inferior al T25 (1.67 kg vs 1.73 kg) (Rodríguez-Segura et al., 2025; 2024). Esta disminución puede deberse al alto contenido de humedad presente en el forraje fresco de *T. diversifolia* (85 % en un estudio), lo que puede provocar un efecto de llenado físico o saciedad en el rumiante, limitando el consumo voluntario total de materia seca (Salazar, 2021; Rodríguez-Segura et al., 2025). A pesar de esto, estudios determinaron que el consumo máximo de forraje de *T. diversifolia* en cabrillas no gestantes y no lactantes alcanzó entre 1.56 % y 2.06 % del peso vivo, confirmando su buena aceptación (Pineda Chapetón, 2020; Elizondo-Salazar, 2021).

Digestibilidad de Nutrientes y Fermentación Ruminal

El potencial de *T. diversifolia* no solo reside en su palatabilidad, sino en su alta calidad nutricional, fundamental para la digestibilidad (Rodríguez-Segura et al., 2025). La composición de *T. diversifolia* utilizada en el estudio de cabras lecheras mostró 21.5% de PC y una Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) del 73.5% (Rodríguez-Segura et al., 2025).

La inclusión de *T. diversifolia* ejerce un impacto positivo en la digestibilidad, particularmente de la fracción fibrosa, debido a su alto contenido de PC (Rodríguez-Segura et al., 2025). El alto contenido de PC en la dieta favorece la degradabilidad de la fibra por parte de los microorganismos celulíticos ruminales, lo que incrementa la fermentación de la MS y, por ende, una mayor disponibilidad de nutrientes (Galindo et al., 2008, citado en Rodríguez-Segura et al., 2025).

Además, el efecto de los carbohidratos estructurales de la *T. diversifolia* sobre la fermentación ruminal es clave para la calidad de la leche (Bedoya et al., 2012, citado en Rodríguez-Segura et al., 2025). Estos carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) son aprovechados por las bacterias ruminales para sintetizar

ácidos grasos volátiles (AGV), especialmente ácido acético, que es el responsable directo de aumentar el contenido de grasa en la leche (Rodríguez-Segura et al., 2025).

A nivel ambiental, existe evidencia in vitro e in vivo en rumiantes (bovinos y ovinos) de que la inclusión de *T. diversifolia* puede tener un efecto modulador en el rumen debido a sus metabolitos secundarios (como saponinas y taninos) (Castaño-Jiménez et al., 2023; Hernández-Arboleda et al., 2024). En bovinos, si bien no se encontraron diferencias en las emisiones netas de metano (CH₄) entre dietas convencionales y dietas con 25% de inclusión de *T. diversifolia*, sí se identificaron diferencias en las emisiones por kilogramo de peso ganado en animales de engorde, lo que sugiere un beneficio ambiental y productivo al reducir la intensidad de las emisiones (Hernández-Arboleda et al., 2024).

Respuesta Productiva: Producción de Leche y Ganancia de Peso

Producción de Leche y Calidad Bromatológica

La suplementación con *T. diversifolia* en cabras lecheras afecta tanto la cantidad como la composición de la leche.

1. Producción de Leche (PL): El tratamiento con una sustitución del 25 % de AB (T25) registró la mejor respuesta productiva no corregida por grasa (2.22 kg/cabra/día), siendo estadísticamente similar al control (T0: 2.18 kg/cabra/día) (Rodríguez-Segura et al., 2025; 2024). Esto indica que la *T. diversifolia* puede reemplazar parcialmente el AB sin afectar negativamente el rendimiento lechero (Arias, 2018, citado en Rodríguez-Segura et al., 2025). Sin embargo, la sustitución al 50 % (T50) resultó en la producción de leche más baja (2.05 kg/cabra/día), lo que se relaciona con el menor CMS total y el efecto de llenado físico del rumen observado en este tratamiento (Rodríguez-Segura et al., 2025).

2. Calidad de la Leche: La inclusión de *T. diversifolia* favoreció significativamente la calidad bromatológica de la leche (Rodríguez-Segura et al., 2025).

- Grasa y Sólidos Totales (ST): El contenido de grasa y sólidos totales fue superior en los tratamientos suplementados. El T50 alcanzó el valor más alto de grasa (4.43 %) y de Sólidos Totales (12.39 %) (Rodríguez-Segura et al., 2025). Este aumento de grasa se explica por el incremento en la ingesta de fibra efectiva (FDN) que favorece la síntesis de ácido acético en el rumen (Arias, 2018, citado en Rodríguez-Segura et al., 2025; Bedoya et al., 2012, citado en Rodríguez-Segura et al., 2025).

Proteína: El tratamiento T50 también registró el porcentaje de proteína láctea más alto (3.02 %), confirmando que al aumentar la inclusión de *T. diversifolia*, favorece la síntesis de proteína láctea en caprinos (Rodríguez-Segura et al., 2025).

Ganancia de Peso y Desempeño en Ovinos y Caprinos de Ceba

Si bien la mayoría de los estudios se centran en la producción lechera, la evidencia en pequeños rumiantes de engorde también es positiva.

En Caprinos de Ceba: En un estudio que comparó diferentes fuentes proteicas (Botón de Oro, Alfalfa y Urea) en la alimentación de caprinos de 4 a 12 meses, la dieta incluyó *T. diversifolia* (al 30% como harina) fue efectiva, resultando en una ganancia de peso de 3 a 4 kg en un periodo de dos meses, indicando una buena aceptación y efectividad similar a las otras dietas evaluadas (López Pedraza, 2025).

2. ¿Qué efectos sobre parámetros de salud (metabólicos, hemáticos, fermentación ruminal, emisiones de metano) se han observado en pequeños rumiantes (cabras o similares) alimentados con *T. diversifolia* en condiciones tropicales?

Efectos de la Suplementación con *Tithonia diversifolia* en Parámetros de Salud y Eficiencia Metabólica en Pequeños Rumiantes Tropicales

Como investigador en producción animal, la evaluación de forrajes estratégicos como *Tithonia diversifolia* (TD), también conocida como botón de oro, es esencial para optimizar la salud, la productividad y la sostenibilidad ambiental en los sistemas caprinos y ovinos tropicales. Los estudios han revelado que la suplementación con TD modula favorablemente la fermentación ruminal y mejora indirectamente los parámetros metabólicos, mientras que la información sobre **parámetros hemáticos** directos es limitada en la literatura reciente (Holguín Castaño, 2016; Rodríguez-Segura et al., 2025)

Impacto sobre la Fermentación Ruminal y Emisiones de Metano (CH₄)

La principal contribución de *T. diversifolia* en términos de salud y sostenibilidad ambiental reside en su capacidad para modular la actividad ruminal.

Mitigación de Metano Entérico

La inclusión de ensilajes que contienen TD ha demostrado ser una estrategia promisoría para la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI). En

estudios de fermentación ruminal simulada (RUSITEC), las dietas que incorporaron TD redujeron la producción neta de metano (CH₄). Un ensayo que evaluó ensilajes de *Pennisetum purpureum* (PP) en mezcla con TD reportó que el control (100% PP) liberó 2.43 mmol/g de materia seca (MS) degradada, mientras que el tratamiento con 100 % TD redujo esta emisión a 1.36 mmol/g (Holguín Castaño, 2016). Esta disminución es un indicador de mayor eficiencia energética, lo cual sugiere menos CH₄ emitido por unidad de proteína animal comestible producida (Holguín Castaño, 2016; Holguín Castaño et al., 2016).

La capacidad de TD para reducir el CH₄ se asocia, en parte, a la presencia de taninos condensados (TC), si bien estos se encuentran en niveles bajos (entre 1.0 % y 1.4 %) (Herrera et al., 2020; Holguín Castaño, 2016). El forraje también contiene fenoles totales (0.20 % a 0.29 %) (Gallego-Castro et al., 2017; Herrera et al., 2020), y la baja concentración de estos metabolitos secundarios es deseable, ya que no afecta negativamente la palatabilidad, a diferencia de niveles más altos que podrían comprometer el consumo (Gallego-Castro et al., 2017).

Dinámica de Nitrógeno y Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

La TD mejora la eficiencia en el uso del nitrógeno. En el sistema RUSITEC, la concentración de Nitrógeno Amoniacal (NH₃-N) fue más baja en los tratamientos que incluyeron TD (Holguín Castaño, 2016). Este resultado es un signo de eficiencia metabólica, indicando una mayor incorporación de nitrógeno dietético en la proteína microbiana y una proteólisis más lenta, lo que es ventajoso para el rumiante (Holguín Castaño, 2016).

Respecto a los AGV, aunque la producción total no se vio afectada, el perfil de butirato fue significativamente más bajo en las dietas suplementadas con TD (Holguín Castaño, 2016). Esta modulación es metabólicamente importante, ya que una producción alta de butirato, común en dietas a base de solo gramíneas, está asociada a una pérdida de carbonos que son liberados en forma de CH₄ (Holguín Castaño, 2016).

Estabilidad del Medio Ruminal y Microbiota

La inclusión de TD en ensilajes con PP no alteró las condiciones fisiológicas óptimas del rumen simulado. El pH ruminal y el potencial redox se mantuvieron dentro de los rangos adecuados para la fermentación y no mostraron variación significativa entre los tratamientos (Holguín Castaño, 2016). De manera similar, el recuento de protozoos ciliados en el RUSITEC no presentó diferencias significativas entre los tratamientos que incorporaron TD y el control (Holguín Castaño, 2016).

Parámetros Metabólicos y Hemáticos (Salud Inferida por Producción)

Es crucial señalar que las fuentes disponibles no contienen información sobre parámetros hemáticos clínicos (como recuento de glóbulos o urea en sangre) en cabras o similares alimentados con TD. Por lo tanto, el estado de salud y metabólico se evalúa a través de indicadores indirectos como la composición de la leche, la ganancia de peso y el consumo de nutrientes.

Efecto Metabólico en la Calidad de la Leche (Cabras)

La sustitución parcial del alimento balanceado (AB) por TD en cabras lecheras (raza Saanen) demostró un efecto metabólico positivo en la calidad de la leche (Rodríguez-Segura et al., 2025).

El tratamiento con un 50 % de sustitución (T50) registró los contenidos más altos de Sólidos Totales (12.39 %), Sólidos No Grasos (7.95 %), y Proteína (3.02 %) (Rodríguez-Segura et al., 2025). El incremento en la proteína se atribuye al alto contenido de Proteína Cruda (PC) de la TD, que puede alcanzar hasta el 27.61 % MS en forraje joven (Alpízar-Naranjo et al., 2023; Gallego-Castro et al., 2017).

Además, el porcentaje de Grasa Láctea fue significativamente superior en los tratamientos con TD (T25 con 4.34 % y T50 con 4.43 %) que en el control (4.08 %) (Rodríguez-Segura et al., 2025). Este aumento se explica por la fermentación ruminal de los carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) de TD, los cuales generan ácido acético, el precursor esencial de la grasa láctea (Rodríguez-Segura et al., 2025).

Ganancia de Peso y Consumo de Nutrientes (Ovinos y Cabras)

La TD funciona efectivamente como un suplemento de alta calidad proteica. En ovinos de pelo destetados, la alimentación con ensilaje de mezcla (PP 67% TD 33%) resultó en una ganancia diaria de peso (GDP) positiva de 55 g/animal/día, en comparación con una ganancia negativa en el grupo control (Holguín Castaño, 2016; Holguín Castaño et al., 2016). Además, la inclusión del 30 % de TD en la dieta de corderos en crecimiento resultó en mayor ingesta de alimento y mayor ganancia de peso que la dieta tradicional (Cadena-Villegas et al., 2020).

La alta concentración de PC en TD garantiza un consumo diario promedio de este nutriente de 130 \pm 70 g en cabras, valor que supera el requerimiento diario de PC para un animal de mantenimiento de 50 kg (70 g) (Elizondo-Salazar, 2021; NRC, 2007, citado en Elizondo-Salazar, 2021).

Digestibilidad y Limitación por Humedad

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del forraje de TD es alta, alcanzando valores de hasta 89.2 % en las hojas (Cadena-Villegas et al., 2020), lo que se relaciona con su bajo contenido de Fibra Detergente Neutro (FDN) (inferior a 38 % en forraje de 50 días de rebrote) (Elizondo-Salazar, 2021). Un menor contenido de FDN está inversamente relacionado con el Consumo de Materia Seca (CMS) y directamente relacionado con la digestibilidad (Elizondo-Salazar, 2021; Gallego-Castro et al., 2017).

Sin embargo, el uso de TD fresca tiene una limitación física: su alto contenido de humedad (cercano al 85 % para el forraje fresco) puede causar un llenado físico o efecto de saciedad en el rumiante (Elizondo-Salazar, 2021). Este efecto se observó en cabras lecheras: aunque el tratamiento de sustitución al 25 % (T25) alcanzó el CMS total más alto (1.73 kg), la inclusión al 50 % (T50) generó una disminución numérica en el CMS total (1.67 kg) (Rodríguez-Segura et al., 2025).

En conclusión, *T. diversifolia* optimiza la salud metabólica de los pequeños rumiantes en el trópico al proporcionar una fuente proteica altamente digestible que mejora la calidad de la leche y la ganancia de peso, al mismo tiempo que modula la fermentación ruminal para reducir las emisiones de metano y mejorar la eficiencia del nitrógeno.

3. ¿En qué medida los resultados disponibles para *T. diversifolia* en cabras son aplicables a sistemas de producción en Colombia (altitud, clima, razas locales) y cuáles son las lagunas específicas de investigación para dicho contexto?

Extensión de la Aplicabilidad de Resultados de *Tithonia diversifolia* en Sistemas Caprinos Colombianos: Evaluación de Contextos y Definición de Brechas de investigación.

Aplicabilidad de los Resultados Caprinos a los Sistemas Colombianos

La aplicabilidad de los resultados obtenidos en cabras se considera alta en términos de potencial nutricional y adaptabilidad edafoclimática, pero presenta una limitación crítica en el ámbito genético.

Aplicabilidad Climática y Altitudinal

Los ensayos principales en cabras se realizaron en el trópico alto de Costa Rica, a altitudes de 1542 msnm (temperatura media de 19.3 °C) y 1260 msnm (temperatura promedio de 19.2°C) (Elizondo-Salazar, 2021; Rodríguez-Segura et al., 2025). Estas condiciones son análogas a las de las zonas de Trópico Alto Andino colombiano, sugiriendo una aplicabilidad directa en muchas áreas de producción caprina en Colombia.

Además, la *T. diversifolia* ha demostrado una amplia adaptabilidad, manteniéndose viable y con calidad nutricional desde el nivel del mar hasta los 2200 msnm, y en suelos ácidos o de baja fertilidad (Rivera et al., 2022). La evidencia en el piedemonte Amazónico colombiano (trópico húmedo a 347 msnm y 25.5 °C) temperatura) demuestra que la inclusión de *T. diversifolia* (15% de la dieta) en vacas de doble propósito aumentó el consumo de Proteína Cruda (PC) y minerales, redujo la fibra, y mejoró la producción y la calidad composicional de la leche (Rivera et al., 2022). Esta evidencia en un contexto geográfico y climático colombiano diferente al de los estudios caprinos confirma la viabilidad del forraje en la diversidad de ambientes del país.

Aplicabilidad Nutricional

Los mecanismos que impulsan la mejora productiva son consistentes en rumiantes. La inclusión de *T. diversifolia* mejora el suministro de PC y minerales, y reduce la fibra, favoreciendo la degradabilidad in vitro de la Materia Seca (MS). Esta alta calidad, sumada a los bajos niveles de FDN (inferior al 38%), se asocia con una buena aceptación por parte de las cabras. Estos principios nutricionales son universalmente aplicables a los hatos caprinos colombianos que buscan reducir la dependencia del concentrado.

Limitación por Razas Locales

La principal limitación para la aplicabilidad directa de los resultados radica en el factor genético. Los estudios productivos en cabras se realizaron con razas especializadas de origen europeo, como Saanen, La Mancha y Toggenburg. En Colombia, la producción caprina a menudo involucra genotipos criollos o cruces adaptados localmente. No existe evidencia disponible en los estudios citados sobre la respuesta productiva y económica de las razas caprinas locales colombianas a la suplementación con *T. diversifolia*, lo que constituye una importante brecha de investigación.

Lagunas Específicas de Investigación para el Contexto Colombiano

A pesar de la adaptabilidad climática y el potencial nutricional, la optimización de la tecnología en Colombia exige abordar las siguientes lagunas de investigación:

Limitación del Consumo de Materia Seca (CMS) y Procesamiento del Forraje

El principal factor que restringe el uso máximo de *T. diversifolia* fresca en cabras de alta productividad es su alto contenido de humedad (Rodríguez-Segura et al., 2025). La humedad provoca un llenado físico prematuro del rumen, lo que limita el Consumo de Materia Seca (CMS) total, incluso cuando la palatabilidad es alta. En cabras no lactantes, el CMS de forraje fresco fue bajo, con solo 700 g MS/día, o 1.44% del peso vivo. Esta restricción explica por qué, en cabras lecheras, la Producción de Leche (PL) disminuyó un 7.7% al pasar de 25% (T 25) a 50% (T50) de sustitución de AB (Rodríguez-Segura et al., 2025).

Laguna: Es imperativo que la investigación en Colombia se centre en la evaluación in vivo de formas de procesamiento (como el pre-secado, henificación o harinas) para reducir la humedad y superar el efecto de llenado físico en cabras locales y de alta genética (Rodríguez-Segura et al., 2025).

Balance Nutricional y la Eficiencia de la Proteína

T. diversifolia presenta una proteína de alta solubilidad. Si esta liberación de proteína en el rumen no se sincroniza con suficiente energía fermentable, puede resultar en la pérdida de nitrógeno a través de la orina, reduciendo la eficiencia de utilización de nutrientes.

Laguna: Se requiere investigar y validar la formulación óptima de raciones isoenergéticas para sistemas caprinos colombianos, utilizando fuentes de energía disponibles regionalmente, para lograr un equilibrio que maximice la síntesis de proteína microbiana y la eficiencia del nitrógeno.

Mitigación de Metano Entérico en Caprinos

Aunque los estudios en bovinos colombianos (piedemonte Amazónico) demostraron que la inclusión de *T. diversifolia* reduce las emisiones absolutas de metano (CH₄) y su intensidad por unidad de producto (Rivera et al., 2022), debido a la disminución de fibra y la presencia de compuestos fitoquímicos (taninos y saponinas), no hay datos in vivo concluyentes sobre la mitigación de CH₄ en caprinos colombianos.

Laguna: Se debe validar si los compuestos fitoquímicos de *T. diversifolia* ejercen el mismo efecto modulador sobre la microbiota caprina, reduciendo las poblaciones metanogénicas y la huella de carbono de la producción caprina tropical.

Desempeño a Largo Plazo

Los estudios productivos en cabras son de corta duración (períodos de evaluación de 63 días o menos).

Laguna: Es necesario generar soporte científico sobre la respuesta productiva y reproductiva a largo plazo de la inclusión de *T. diversifolia* en las dietas de cabras en Colombia, y evaluar el impacto económico total, incluyendo los costos de mano de obra asociados al manejo de forraje fresco (Rodríguez-Segura et al., 2025).

Conclusiones

Tithonia diversifolia se consolida como un forraje estratégico para sistemas de producción caprina en ambientes tropicales gracias a su elevado contenido de proteína, adecuada digestibilidad y capacidad para mejorar el consumo de materia seca. La inclusión moderada, especialmente alrededor del 25%, favorece la calidad composicional de la leche y mantiene niveles productivos estables, mientras optimiza la fermentación ruminal y la eficiencia del uso del nitrógeno. Sin embargo, porcentajes superiores pueden generar restricciones asociadas al efecto de llenado, lo que evidencia la importancia de ajustar la oferta según la humedad del material y las condiciones específicas del rebaño.

Los metabolitos secundarios presentes en la planta contribuyen a reducir la producción de metano y a potenciar el ambiente microbiológico ruminal, generando beneficios ambientales y metabólicos complementarios. En Colombia, su potencial es particularmente alto debido a la disponibilidad regional del recurso y a su adaptación a condiciones tropicales, aunque aún se requiere investigación en razas criollas y esquemas de manejo que maximicen su estabilidad nutritiva. La ausencia de estudios de largo plazo abre una oportunidad para evaluar impactos productivos, ambientales y económicos que respalden su implementación a nivel técnico y empresarial.

Referencias

1. Alpízar-Naranjo, A., Arias-Gamboa, L. M., López Herrera, M., & Castillo-Umaña, M. Á. (2023). Fertilización y edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia*. *Agronomía Mesoamericana*, 34(2). <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.54471>
2. Alpízar-Naranjo, A., Arias-Gamboa, L. M., López Herrera, M., & Castillo-Umaña, M. Á. (2023). Fertilización y edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3), 1–17. <https://doi.org/10.15517/am.v34i3.54130>
3. Cadena-Villegas, S., Martínez-Maldonado, H. G., Sosa-Montes, E., Mendoza-Pedroza, S. I., Salinas-Ríos, T., Flores-Santiago, E. J., & Alejos de la

Fuente, J. I. (2020). Use of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in the diet of growing lambs. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 72(5), 1801–1808. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11923>

4. Cardona-Iglesias, J., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Efecto sobre la fermentación in vitro de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 405–426.

5. Castaño-Jiménez, G. A., Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2023). Review of the nutritional quality of wild sunflower and cassava bran for silage production in dairy cattle. *Veterinaria México OA*, 10. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2023.1201>

6. Elizondo-Salazar, J. A. (2021). Calidad nutricional y consumo por cabras de forraje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Agronomía Costarricense*, 45(2), 135–142. <https://doi.org/10.15517/RAC.V45I2.47774>

7. Gallego-Castro, L. A., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 213–222. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>

8. Herrera, R. S., Verdecia, D. M., & Ramírez, J. L. (2020). Chemical composition, secondary and primary metabolites of *Tithonia diversifolia* related to climate. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(3), 425–433. <https://cjascience.com/index.php/CJAS/article/view/976/1149>

9. Hernández-Arboleda, X., Ortiz, S., Vivas-Arturo, W. F., & Ledea Rodríguez, J. L. (2024). Macromolecular quality, fermentation, and methane production of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología*.

10. Holguín Castaño, V. A. (2016). Optimización de *Tithonia diversifolia* ensilada como alimento para ovinos de pelo [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstreams/c9ab4605-1064-4549-aacf-9bbdc4d719ef/download>

11. Kholif, A. E., Khattab, H. M., Shewy, A. A., Salem, A. Z. M., Kholif, A. M., Sayed, M. M., Gado, H. M., & Mariezcurrena, A. M. (2014). Nutrient digestibility, ruminal fermentation activities, serum parameters and milk production of lactating goats fed rice straw treated with *Pleurotus ostreatus*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27, 357–364.

12. López Pedraza, Ó. D. (2025). Efecto de la inclusión de botón de oro (), alfalfa () y urea como fuentes proteicas en la alimentación de caprinos [Trabajo de Grado]. Universidad Industrial de Santander.

13. Mejía-Díaz, E., Mahecha-Ledesma, L., & Angulo-Arizala, J. (2017). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 289–302. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22673>

14. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement. *Systematic Reviews*, 10(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>

15. Pineda Chapetón, A. I. (2020). Determinación del consumo máximo de forrajes de arbustos *Tithonia* y *Chaya* en cabras [Tesis de Licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15235/>

16. Rivera, J. E., Villegas, G., Chará, J., Durango, S. G., Romero, M. A., & Verchot, L. (2022). Effect of *Tithonia diversifolia* intake on methane and milk production in dual-purpose cows. *Translational Animal Science*, 6(4), txac139. <https://doi.org/10.1093/tas/txac139>

17. Rodríguez-Segura, A., Camacho-Cascante, I., Alpízar-Naranjo, A., & Castillo-Umaña, M. Á. (2025). Evaluación de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A. Gray como suplemento en la alimentación de cabras lecheras. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 23(45), 1–21. <https://doi.org/10.15359/prne.23-45.3>

18. Ruiz, T. E., Febles, G. J., Galindo, J. L., Savón, L., Chongo, B., Torres, V., ... & Zamora, A. (2014). *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(1), 79–82.

19. Salazar, J. (2021). Calidad nutricional y consumo por cabras de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Agronomía Costarricense*, 42(2).
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/47774/47493>

20. Zabala, B. (2021). Botón de oro como alternativa sostenible en granjas con especies de interés zootécnico en Colombia [Monografía]. UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/44738/bzabalal.pdf>