

Revisión de la calidad nutricional de botón de oro y de afrecho de yuca para la producción de ensilajes en ganadería de leche

Gastón Adolfo Castaño-Jiménez¹

 0000-0002-1977-3922

Wilson Andrés Barragán-Hernández²

 0000-0003-3528-4296

Liliana Mahecha-Ledesma³

 0000-0003-3377-8399

Joaquín Angulo-Arizala^{3*}

 0000-0003-3352-8795

¹Corporación Universitaria
Santa Rosa de Cabal-Unisarc.
Facultad de Ciencias Pecuarias.
Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia.

²Corporación Colombiana
de Investigación Agropecuaria-Agrosavia.
Centro de Investigación El Nus.
San Roque, Antioquia, Colombia.

³Universidad de Antioquia.
Facultad de Ciencias Agrarias.
Medellín, Antioquia, Colombia.

***Autor para correspondencia:**

Correo electrónico:

joaquin.angulo@udea.edu.co

Resumen

El botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray) es un forraje promisorio en ganadería de leche, debido al relativamente elevado contenido de proteína y carbohidratos no fibrosos; además, posee metabolitos secundarios que pueden modular la fermentación ruminal hacia vías metabólicas más eficientes para el animal y menos perjudiciales para el medio ambiente. El valor nutritivo del botón de oro por su estado fenológico ayuda a establecer estrategias de manejo que benefician el desempeño de los animales, sin perjudicar el forraje. Por otra parte, el afrecho de yuca es un subproducto de la extracción del almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) con potencial uso en alimentación de ganado lechero, por su elevada concentración de almidón. El proceso de ensilaje favorece el uso del botón de oro, pues permite cosecharlo de acuerdo con la edad fenológica, mantener estable la oferta de forraje y disminuir los costos de producción. Utilizar aditivos como azúcar, melaza y jugo fermentado de flora epífita puede contribuir al proceso de fermentación ácido láctica y disminuir la pérdida de nutrientes durante la elaboración de ensilajes. Emplear afrecho de yuca al elaborar ensilaje de botón de oro, contribuye a la conservación del forraje porque disminuye la humedad y aporta carbohidratos de fácil fermentación. El ensilado mixto de botón de oro y el afrecho de yuca benefician la alimentación del ganado lechero, debido al contenido de proteína y los metabolitos secundarios del botón de oro, sumado al aporte de almidón del afrecho de yuca; sin embargo, esta hipótesis debe ser desafiada experimentalmente.

Palabras clave: Alternativas de alimentación animal; Calidad de forrajes; Conservación de forrajes; Forrajes tropicales; Metabolitos secundarios; Subproductos agroindustriales; *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray.

Cómo citar este artículo:

Castaño-Jiménez GA, Barragán-Hernández WA, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J. Revisión de la calidad nutricional de botón de oro y de afrecho de yuca para la producción de ensilajes en ganadería de leche. Veterinaria México OA. 2023;10. doi: 10.22201/fmvz.24486760e.2023.1201.

Recibido: 2023-04-13

Aceptado: 2023-08-07

Publicado: 2023-10-24

Información y declaraciones adicionales
en la página 13

© Derechos de autor 2023

Gastón Adolfo Castaño-Jiménez et al.

acceso abierto 



Distribuido bajo una Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0)

Contribución del estudio

El uso de alimentos balanceados afecta los costos de producción en el ganado lechero, motivo por el cual es importante buscar alternativas de alimentación de bajo costo. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray y *Manihot esculenta* Crantz son recursos que pueden ser empleados para disminuir el uso de alimentos balanceados. El proceso de ensilaje favorece la utilización de forrajes tropicales, pero las características de éstos limitan la fermentación durante su preparación. En esta revisión se presentan características nutricionales del botón de oro y del afrecho de yuca que sugieren que el ensilado mixto suministraría proteína y almidón a menor costo; además del potencial efecto benéfico de los metabolitos secundarios del botón de oro sobre la producción, la calidad de la leche y del medio ambiente. También se describe el amplio beneficio de mezclar estos recursos para mejorar la calidad de fermentación durante la fabricación de ensilajes, así como del uso de aditivos.

Introducción

La alimentación es el principal rubro dentro de los costos de producción en ganado lechero.⁽¹⁾ El alimento balanceado aumenta la producción de leche,⁽²⁾ pero afecta la rentabilidad del sistema, pues representa el 30–51⁽³⁾ o 54 %⁽⁴⁾ de los costos de producción en lecherías intensivas de Antioquia, Colombia. Las materias primas convencionales en la fabricación de alimentos balanceados para animales son costosas,⁽⁵⁾ su disponibilidad es variable por ser recursos importados⁽⁶⁾ y con precios inestables debido a la tasa de cambio del dólar. El uso de alimentos concentrados compete con la nutrición humana, debido a que conlleva utilizar cereales⁽⁷⁾ como fuente de almidón,⁽⁸⁾ y soya como fuente de proteína.⁽⁹⁾

Por otro lado, la inclusión elevada de alimento balanceado aumenta los riesgos de acidosis ruminal, disminuye la grasa láctea⁽¹⁾ y puede afectar el consumo de alimento.⁽¹⁰⁾ El escenario anteriormente expuesto obliga a la búsqueda de alternativas de alimentación de menor costo, fácil producción o acceso, que no compitan con la nutrición humana, que mantengan la producción y salud de los animales, y que sean amigables con el ambiente.⁽¹¹⁾ Dichas alternativas deben aprovechar la habilidad de los bovinos para producir leche a partir de forrajes⁽⁷⁾ o subproductos agroindustriales.⁽¹²⁾

Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray es un forraje promisorio para el ganado lechero, especialmente por su contenido de nutrientes⁽¹³⁾ y metabolitos secundarios.^(14,15) Este forraje se ha evaluado en sistemas silvopastoriles^(13,16) y como ensilaje para vacas lecheras.⁽¹⁷⁾ El proceso de ensilaje potencializa el uso de botón de oro, ya que permite su cosecha según la edad fenológica sin depender de la cantidad de forraje que consuman los animales, y facilita mantener estable la oferta forrajera y disminuir los costos de producción. *Manihot esculenta* Crantz es un subproducto de la extracción del almidón de yuca, que posee un elevado contenido de carbohidratos no fibrosos.⁽¹⁸⁾ Durante la etapa de colado y tamizado en la poscosecha de la yuca, se obtiene el afrecho de yuca⁽¹⁹⁾ que contiene el 60–70 % de almidón en base seca.⁽²⁰⁾

Elaborar ensilaje mixto de botón de oro y afrecho de yuca para alimentar ganado lechero, y emplearlo como sustituto parcial del alimento balanceado, suministraría proteína y almidón a menor costo; además del efecto benéfico

de los metabolitos secundarios del botón de oro sobre la producción láctea, la calidad de la leche y el medio ambiente. Por lo anterior, esta revisión analiza la calidad nutricional de botón de oro y afrecho de yuca para la producción de ensilajes en ganadería lechera.

Botón de oro

Generalidades

Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray, denominada comúnmente botón de oro, árbol maravilla, falso girasol, quil amargo, tornasol mexicano, girasol mexicano, margaritona, árnica de la tierra, girasol japonés o crisantemo de Nitobe, es un forraje nativo de América Central y México,⁽²¹⁾ empleado por su valor nutricional, rusticidad y elevada producción de biomasa.⁽¹³⁾ El uso de este forraje es una estrategia promisoría en bovinos porque es una fuente de proteína y metabolitos secundarios.⁽¹⁴⁾ El botón de oro es de interés en la alimentación por su elevado contenido de proteína (121.6–245.2 g(kg)⁻¹ MS),⁽²²⁾ comparado con forrajes tropicales habituales para el pastoreo.⁽²³⁾ Los metabolitos secundarios de esta planta le otorgan propiedades beneficiosas⁽²⁴⁾ en la dieta de rumiantes.⁽²⁵⁾ Además, posee baja concentración de fibra, alto contenido de energía y elevada degradabilidad de la materia seca (MS).⁽²⁶⁾

El falso girasol se introdujo como especie ornamental en muchos países, pero se convirtió en una planta invasora de rápida proliferación⁽²³⁾ y amplia adaptación edafoclimática.⁽²⁵⁾ En Colombia, crece desde el nivel del mar (30 °C) hasta 2 500 (10 °C)⁽²⁷⁾ o 2 905 msnm,⁽²⁸⁾ con precipitaciones de 800–5 000 mm al año.⁽²⁷⁾ Esta especie alimenta sistemas de pastoreo directo, de corte, y de acarreo o en harina;⁽²⁹⁾ así como de cerca viva,⁽¹³⁾ para restaurar suelos, como abono verde y en apicultura.⁽³⁰⁾ La medicina tradicional también lo administra por su efecto analgésico, antiinflamatorio,⁽³¹⁾ antimalárico y repelente.⁽³²⁾

Valor nutricional

Tithonia diversifolia se ha evaluado en la dieta de gallinas ponedoras,⁽²¹⁾ pollos de engorda,⁽³³⁾ ovejas,⁽³⁴⁾ cabras,⁽³⁵⁾ conejos⁽³⁶⁾ y cuyos;⁽³⁷⁾ pero, es evidente su potencial en vacas lecheras de alta producción.⁽³⁸⁾ Este forraje se emplea en la alimentación animal por su valor nutricional,⁽¹³⁾ que depende del estado fenológico,⁽²²⁾ el suelo, la procedencia, el momento de cosecha, el método de procesamiento⁽⁵⁾ y la época del año.⁽³⁹⁾

Este llamado, árbol maravilla, resalta por el contenido de proteína⁽⁴⁰⁾ y de carbohidratos no estructurales (CNE), así como por su baja concentración de fibra detergente neutro (FDN) (Cuadro 1). La concentración media de la proteína cruda (PC) del botón de oro en la literatura consultada es de 193.8 g(kg)⁻¹ MS (Cuadro 1). Este valor es relativamente elevado, al ser comparado con gramíneas tropicales como la estrella (*Cynodon plectostachyus* (K Schum.) Pilg.; 83 g(kg)⁻¹ MS), guinea (*Megathyrus maximus* (Jacq.) BK Simon & SWL Jacobs; 72 g(kg)⁻¹ MS), *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich. RD Webster; 90 g(kg)⁻¹ MS), carimagua (*Andropogon gayanus* Kunth; 91 g(kg)⁻¹ MS)⁽⁴¹⁾ y elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone; 59 g(kg)⁻¹ MS).⁽¹⁸⁾

Cuadro 1. Composición química de *Tithonia diversifolia*

Fuente	MS	Fracción del alimento (g(kg) ⁻¹ de MS) ¹						
		PC	CNE	EE	FDN	FDA	Lig	Cen
Arias et al. ⁽⁴²⁾	150.0	215.0	221.0 ⁵	24.0	425.0	368.0	115.0	115.0
Cardona et al. ⁽⁴³⁾	--	172.0	295.0	11.0	390.0	272.0	--	125.0
Cardona et al. ⁽¹⁶⁾	--	183.0	194.0	30.0	443.0	333.0	--	150.0
Castaño y Cardona ⁽⁴⁴⁾	218.1	307.0	161.9	35.9	327.8	235.0	90.9	167.4
Elizondo ⁽⁴⁵⁾	94.0	172.0	--	--	378.0	282.0	67.0	170.0
Gallego et al. ⁽²⁹⁾	--	116.6	360.7 ⁵	29.6	371.7	324.0	60.2	121.4
Gallego et al. ⁽²⁷⁾ ⁴	127.0	133.9	82.2	--	522.7	485.1	--	159.0
Guatusmal et al. ⁽²⁸⁾ ⁴	--	240.6	--	--	340.8	161.9	28.9	--
Huertas et al. ⁽¹⁴⁾ ²	300.7	93.6	--	--	491.7	381.7	101.4	105.6
Londoño et al. ⁽²²⁾ ^{3,4}	181.2	184.7	--	--	519.2	375.0	154.3	143.2
Mahecha et al. ⁽⁴⁶⁾	--	223.2	258.2	22.6	358.8	180.8	36.2	137.2
Mahecha et al. ⁽⁴⁷⁾	188.1	167.3	--	--	375.7	--	--	--
Mejía et al. ⁽¹³⁾ ³	223.0	241.3	140.3 ⁴	32.5	447.0	364.0	92.0	146.8
Montero et al. ⁽³⁷⁾	--	244.6	--	60.1	--	--	--	113.2
Navas y Montaña ⁽⁴⁸⁾	190.0	200.0	--	--	616.7	426.7	--	--
Roa et al. ⁽³³⁾	--	185.0	--	11.0	--	--	--	129.0
Ramos et al. ⁽⁴⁹⁾	170.3	214.4	231.8	29.1	326.9	215.0	--	197.8
Media	184.2	193.8	216.1	28.6	422.3	314.6	82.9	141.5
Mínimo	94.0	93.6	82.2	11.0	326.9	161.9	28.9	105.6
Máximo	300.7	307.0	360.7	60.1	616.7	485.1	154.3	197.8

¹ MS: materia seca; PC: proteína cruda; CNE: carbohidratos no estructurales; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; Lig: lignina; Cen: cenizas.

² Ensilado de botón de oro.

³ Revisiones de literatura.

⁴ Media de la literatura consultada, valores mínimos y máximos de la literatura consultada. Cuando los autores reportaron varios datos se empleó la media de los datos reportados.

⁵ Estimado según valores reportados por los autores (CNE = 1000-PC-EE-FDN-Cen)⁽⁵⁰⁾

La alimentación de rumiantes en el trópico alto en Colombia (> 2 200 msnm) se soporta principalmente en el kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov. Morrone).⁽⁵¹⁾ El contenido de PC del botón de oro es mayor en comparación con el kikuyo reportado por algunos autores (118 g(kg)⁻¹ MS)⁽⁵²⁾ o similar, comparado con otros valores (239.1 g(kg)⁻¹ MS),⁽¹⁶⁾ estas diferencias en la variación de la PC, en ambas especies, se explica por procedencia, fertilidad del suelo, época del año,⁽⁵⁾ edad,^(5, 53) fertilización y condiciones ambientales.⁽⁵³⁾

La PC del árnica de la tierra varía significativamente en la literatura consultada (mínimo 93.6 y máximo 307.0 g(kg)⁻¹ MS; Cuadro 1). La proteína disminuye con la edad de corte.⁽⁵⁴⁾ Aunque algunos autores mencionan un comportamiento opuesto,⁽⁵⁵⁾ esto se explica por las diferentes condiciones experimentales. El contenido de proteína varía según el genotipo de esta árnica.⁽²⁶⁾ La concentración de proteína se incrementa con el nivel de fertilización nitrogenada^(56, 57) y la época lluviosa.⁽²⁶⁾ Concentraciones tan elevadas como (307.0⁽⁴⁴⁾ y 343⁽²⁶⁾ g(kg)⁻¹ MS), sugieren que este forraje tiene gran potencial como fuente de proteína para animales.

La concentración de FDN del girasol mexicano, de acuerdo con la literatura, es de $422.3 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$ (Cuadro 1); la cual es menor en comparación con el *C. clandestinus* ($562.1 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$),⁽⁵³⁾ *C. plectostachyus* ($749 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$), *M. maximus* ($719 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$), *U. brizantha* ($653 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$), *A. gayanus* ($715 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$)⁽⁴¹⁾ y el *C. purpureus* ($727 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$).⁽¹⁸⁾

El menor contenido de fibra se asocia con el mayor consumo de MS, la digestibilidad de la dieta⁽⁵⁸⁾ y la concentración de CNE en el forraje.⁽⁵⁰⁾ La concentración de CNE del falso girasol es elevada,⁽²²⁾ la media es de $216.1 \text{ g(kg)}^{-1} \text{ MS}$ (Cuadro 1). Los forrajes tropicales contienen baja concentración de CNE, lo cual tiene un impacto negativo sobre la producción.⁽⁴²⁾ El principal producto de la fermentación de los CNE es el propionato,⁽⁵⁹⁾ que se convierte en glucosa en el hígado y de esta manera estimula la síntesis láctea.⁽⁶⁰⁾ De tal manera que, el uso de este botón de oro en la dieta de vacas lecheras contribuye a la producción de leche,⁽¹⁷⁾ debido a su contenido de CNE.

La concentración de CNE de la *T. diversifolia* puede contribuir al desarrollo del rumen. Las terneras experimentan adaptaciones morfológicas y metabólicas que permiten la transición de una dieta líquida (leche) a una de alimento sólido (forraje y concentrado).⁽⁶¹⁾ Durante los primeros días de vida, los compartimentos pregástricos no están preparados para la digestión de una dieta sólida;⁽⁶²⁾ posteriormente, la fermentación en el rumen produce los ácidos grasos volátiles (AGV) que suplen el 80 % de la energía.⁽⁶¹⁾ Los principales cambios anatómicos y fisiológicos en el período de transición (prerumiante a rumiante) se encuentran en los compartimentos pregástricos.⁽⁶³⁾ Dichos cambios se caracterizan por un rápido crecimiento en su tamaño, el establecimiento de una población microbiana⁽⁶⁴⁾ y la capacidad de absorber AGV.⁽⁶⁵⁾

Las papilas ruminales se desarrollan para la absorción de nutrientes, especialmente AGV.⁽⁶⁴⁾ La composición química y estructural de la dieta influye en la altura, el ancho y la densidad de las papilas.⁽⁶⁶⁾ Dietas altas en CNE estimulan la proliferación microbiana del rumen y la producción de AGV⁽⁶³⁾ como el ácido butírico, que estimula el desarrollo del tejido responsable de absorber AGV.⁽⁵⁰⁾

Metabolitos secundarios

Las plantas producen metabolitos secundarios con actividad antimicrobiana y, de esta manera, modulan la fermentación ruminal y mejoran la absorción de nutrientes.^(67,68) Estas sustancias naturales no causan resistencia microbiana y pueden afectar positivamente al animal y al producto final.⁽⁶⁴⁾ Los metabolitos secundarios son compuestos orgánicos que no se involucran directamente en la regulación del crecimiento primario y los eventos de desarrollo de la planta. En condiciones ambientales inadecuadas, hay cambios a nivel celular que conducen a la acumulación de metabolitos secundarios para proteger la planta. Estos metabolitos se clasifican en terpenos, fenoles y metabolitos que contienen nitrógeno.⁽⁶⁹⁾

T. diversifolia o crisantemo de Nitobe tiene efecto antimicrobiano:⁽⁷⁰⁾ antibacterial y antifúngico;⁽⁷¹⁾ debido al contenido de alcaloides, flavonoides, taninos, saponinas y esteroides.⁽¹⁵⁾ En la dieta, esta planta reduce la emisión de metano.⁽⁷²⁾ La producción de metano priva al rumiante de fuentes de carbono y representa una pérdida de energía; debido a que al maximizar el flujo de hidrógeno hacia la

producción de AGV y no hacia la de metano, la eficiencia productiva se incrementa, y disminuye el impacto sobre el medio ambiente.⁽⁶⁴⁾

El efecto del botón de oro sobre la producción de metano es contradictorio, algunos autores encontraron reducción en la emisión de metano en vacas,⁽⁷²⁾ pero otros no;⁽⁷³⁾ incluso, hay quienes reportan disminución de metano en evaluaciones *in vitro*,⁽¹⁴⁾ y otros, por el contrario, un incremento.⁽⁷⁴⁾ Estas diferencias se pueden asociar a las condiciones experimentales; además, la composición de metabolitos secundarios de *T. diversifolia* depende del medio ambiente, la distribución geográfica,⁽⁷⁵⁾ el estado fenológico y la genética.⁽⁷⁶⁾

Terpenos

La margaritona o botón de oro contiene triterpenos, saponinas y esteroides.⁽²⁴⁾ Las saponinas poseen estructura anfipática, que consiste en glucósidos de alto peso molecular unidos a un esteroide o a un triterpeno.⁽⁷⁷⁾ Estos compuestos protegen a las plantas de la invasión por bacterias y hongos,⁽⁶⁴⁾ pero son de potencial interés en la dieta de rumiantes porque disminuyen los protozoos del rumen.⁽⁷⁸⁾ Las saponinas afectan la integridad de la membrana de los protozoarios⁽⁷⁹⁾ gracias a sus propiedades surfactantes.⁽⁷⁷⁾ Este efecto antiprotozoario se relaciona con la interacción del esteroide en la membrana de los protozoarios con la saponina.⁽⁶⁴⁾

Una reducción de los protozoarios en el rumen disminuye la producción de metano,⁽⁸⁰⁾ importante para la eficiencia energética de la vaca y para el medioambiente.⁽⁷⁸⁾ La defaunación disminuye la metanogénesis porque los protozoarios suministran grandes cantidades de H₂ a las arqueas metanogénicas;⁽⁷⁹⁾ cerca del 25 % de los metanógenos ruminales viven en asociación con protozoarios.⁽⁷⁸⁾ Las saponinas provocan un incremento en la producción de propionato en el rumen y disminuyen la de acetato o butirato; estos cambios en los AGV se asocian con una menor generación de metano.⁽⁷⁹⁾

Las saponinas modifican la producción de AGV⁽⁷⁹⁾ y disminuyen la relación acetato:propionato.⁽⁷⁸⁾ Un incremento en la producción ruminal de propionato se relaciona con mayor producción de leche.⁽⁶⁰⁾ Estas sustancias pueden afectar la digestibilidad de la dieta⁽⁷⁸⁾ y disminuir la producción de amonio.⁽⁸⁰⁾ Los protozoos dependen principalmente de los aminoácidos preformados de las bacterias y, en menor cantidad, de la proteína degradable en el rumen; la defaunación se asocia con una disminución del amonio ruminal, debido a la disminución de la proteólisis y desaminación.⁽⁸¹⁾ El efecto letal de las saponinas sobre los protozoarios disminuye la degradación de proteína e incrementa el flujo de aminoácidos hacia el intestino delgado.⁽⁶⁴⁾ El efecto de las saponinas puede variar⁽⁷⁸⁾ según el tipo de saponina⁽⁷⁷⁾ y los ensayos *in vitro* no siempre son consistentes con los resultados *in vivo*.⁽⁷⁸⁾

Compuestos fenólicos

El quil amargo o botón de oro posee taninos (libres y condensados), fenoles, flavonoides y lignina.⁽²⁴⁾ Los flavonoides de esta planta tienen efecto antibacterial y antioxidante.⁽⁸²⁾ Aunque los taninos se consideran factores antinutricionales, si se suministran en bajas concentraciones su efecto es bactericida, fungicida, antioxidante, aglutinante de minerales y astringente.⁽⁸³⁾ Los taninos modifican el micro-

bioma ruminal, reducen la degradación proteica, disminuyen la metanogénesis e inhiben la biohidrogenación de ácidos grasos.⁽⁶⁴⁾

Los taninos son polifenoles que se encuentran en las plantas y se clasifican como hidrolizables o condensados.⁽⁶⁸⁾ Los hidrolizables son polifenoles esterificados a un núcleo de carbohidrato, mientras que los condensados (proantocianidinas) son polímeros de flavonoides unidos covalentemente.⁽⁸⁴⁾ Los taninos se unen a la proteína formando un complejo tanino-proteína,⁽⁶⁸⁾ debido a los múltiples grupos hidroxilos fenólicos que forman puentes de hidrógeno con la proteína.⁽⁸⁴⁾ La formación del complejo tanino-proteína afecta el consumo,⁽⁶⁸⁾ la degradación de la proteína⁽³⁵⁾ y la actividad microbiana.⁽⁸⁴⁾ Los taninos reducen el consumo de MS,⁽⁶⁸⁾ pues forman complejos con las proteínas de la saliva⁽⁸⁵⁾ que generan un sabor astringente. Sin embargo, este efecto depende de su concentración en la dieta.⁽⁶⁸⁾

Asimismo, disminuyen la degradación de la proteína.⁽³⁵⁾ El complejo tanino-proteína es estable a pH ruminal (5–7), pero se disocia en el ambiente ácido del abomaso.⁽⁸⁴⁾ Si los taninos se combinan con proteína de alta calidad, se incrementa el flujo de aminoácidos hacia el intestino, mejoran la eficiencia de nitrógeno e incrementan la producción de leche.⁽⁶⁸⁾ Una menor degradación de la proteína disminuye la excreción de nitrógeno al medio ambiente.⁽⁸⁴⁾ Un consumo elevado de taninos puede afectar la digestibilidad de la proteína y de otras fracciones del alimento.⁽⁶⁸⁾ También inactivan las enzimas extracelulares y la actividad de los microorganismos; el efecto depende del tipo de tanino y la dosis.⁽⁸⁴⁾

Los taninos reducen la producción de metano⁽⁸⁶⁾ de dos maneras: los taninos hidrolizables inhiben el crecimiento o la actividad de arqueas metanogénicas y protozoarios, mientras que los taninos condensados afectan la digestión de la fibra⁽⁸⁷⁾ y, así, disminuye la disponibilidad de H₂ para la producción de metano.⁽⁶⁴⁾ La inhibición de los microorganismos se debe probablemente a la interacción entre taninos y sustratos específicos del microorganismo.⁽⁶⁴⁾ Los taninos reducen la biohidrogenación en el rumen⁽⁸⁶⁾ y provocan un incremento en la concentración láctea de ácidos grasos poliinsaturados, C18:1_{t-11} y C18:2_{c-9,t-11}.⁽⁸⁸⁾ Este cambio en el perfil lipídico de la leche tiene efecto beneficioso sobre la salud humana.⁽⁸⁹⁾

Metabolitos que contienen nitrógeno

En este grupo se encuentran alcaloides, glúcidos cianogénicos y glucosinatos.⁽⁶⁹⁾ Los alcaloides son compuestos cíclicos derivados de aminoácidos y contienen nitrógeno en un estado de oxidación negativo; también se incluyen algunas sustancias similares que no se derivan de aminoácidos (pseudoalcaloides) o que no contienen nitrógeno dentro de cualquier estructura de anillo (tipo-alcaloides).⁽⁹⁰⁾ Se atribuyen efectos terapéuticos a los alcaloides como antioxidantes: prevención del cáncer, antidiabéticos, antiinflamatorios y vasodilatadores; sin embargo, no se ha investigado claramente, la manera como pueden beneficiar al ganado.⁽⁹⁰⁾ El botón de oro contiene alcaloides,⁽²⁴⁾ que podrían tener un efecto benéfico sobre la mucosa del tracto digestivo.

La inclusión de alcaloides en la dieta de rumiantes puede disminuir la producción de metano la manera como usan la energía y la proteína.⁽⁹¹⁾ Los alcaloides se intercalan en la pared celular y el DNA de los microorganismos bloqueando los canales de calcio, lo cual favorece la formación de ácido propiónico en vez de

ácido acético.⁽⁹²⁾ Los alcaloides pueden ser tóxicos si se consumen en cantidades elevadas, al provocar daño al sistema nervioso central, daño hepático, calambres musculares y muerte; además, bajan la palatabilidad y de este modo afectan el consumo.⁽⁹⁰⁾

Desarrollo fenológico de *T. diversifolia* y su relación con el valor nutricional

La fenología estudia los patrones de crecimiento y desarrollo de las plantas que se repiten periódicamente durante el año.⁽⁹³⁾ La producción y la calidad nutricional de los forrajes dependen del estado fenológico y la morfología de la planta.⁽⁹⁴⁾ El valor nutritivo del forraje por su estado fenológico, ayuda a establecer estrategias de manejo que permitan un adecuado desempeño productivo de los animales, sin dañar la vegetación.⁽⁹⁵⁾ En especial, permite escoger el momento adecuado de pastoreo o cosecha.⁽⁹⁶⁾ El estado de madurez es el principal factor que afecta el valor nutricional de los forrajes perennes y permite predecir su valor nutritivo.⁽⁹⁷⁾ Con la madurez de la planta, disminuye la proteína,^(97–99) la digestibilidad^(97,99,100) y la energía;^(95,99) mientras aumenta la fibra y la producción de MS.^(95,98,99) Con la edad fenológica, también cambia el perfil lipídico de los forrajes, donde resalta un incremento en los ácidos grasos de la serie -3 y -6.⁽¹⁰¹⁾

Existe diversa información en la literatura sobre la fenología del botón de oro, en alguna se ha descrito el desarrollo fenológico sin considerar la composición química;^(102–106) mientras que en otra, sí.^(28,98,107) La altura del girasol arbustivo aumenta de manera lineal con la edad de la planta,^(103,104) aunque este comportamiento cambia según la época del año⁽¹⁰⁶⁾ y el ecotipo.⁽¹⁰⁵⁾ El peso de este girasol o botón de oro tiene un comportamiento cuadrático según la edad de la planta,⁽¹⁰⁴⁾ mas puede ser lineal⁽¹⁰³⁾ o no variar⁽¹⁰⁶⁾ según la época del año. También, el crecimiento en un sistema silvopastoril intensivo es lineal.⁽⁴⁶⁾ Con la edad de este tornasol mexicano, aumenta la MS y la fibra, pero disminuye la PC y la digestibilidad.^(28,97,107) Los metabolitos secundarios varían según la edad fenológica, no obstante, esta variación depende de factores medioambientales^(76,107) y genéticos.⁽⁷⁶⁾

Afrecho de *Manihot esculenta* en la alimentación de rumiantes

Cerca del 23 % del almidón que se produce en el mundo proviene de la yuca (*M. esculenta*).⁽¹⁰⁸⁾ La yuca es una importante fuente de almidón en países tropicales,⁽¹⁰⁹⁾ es muy competitiva porque las raíces contienen más almidón en base seca que cualquier otro cultivo alimentario y porque el almidón se puede extraer con tecnologías simples.⁽¹⁰⁸⁾ El afrecho de yuca es el principal subproducto de la extracción del almidón de yuca y se emplea en la alimentación animal debido a su alta concentración de energía.⁽¹¹⁰⁾ Por cada tonelada de yuca se obtienen 231–234 kg de almidón agrio y 101–105 kg de afrecho de yuca (880 y 900 g(kg)⁻¹ de MS, respectivamente).⁽¹⁹⁾

El almidón de yuca se extrae por vía húmeda,⁽¹⁰⁸⁾ separando el almidón de la yuca molida por contacto con agua.⁽¹⁰⁹⁾ Las fases del proceso son: lavado-pelado, selección-despunte, rallado, colado-tamizado, sedimentación, fermentación, secado y triturado.⁽¹⁹⁾ En resumen, en el proceso se remueven las cáscaras (lavado-pelado), se quitan las puntas (selección-despunte), se libera el almidón al separar los gránulos de las fibras (rallado), se extrae el almidón con agua (colado-tamizado), el almidón se precipita en canales (sedimentación) y luego se seca para obtener el almidón nativo. Si se fermenta antes de deshidratar, se produce almidón agrio.⁽¹¹¹⁾

El agua y la fermentación permiten la eliminación de endógenos de la yuca; luego de la fermentación, el contenido de glucósidos cianógenos (linamarina y lotaustralina) es reducido casi completamente.⁽¹¹²⁾ El afrecho de yuca es un material fibroso con elevado contenido de humedad ($> 800 \text{ g(kg)}^{-1}$)⁽¹¹³⁾ que resulta del colado y tamizado. Debido al elevado contenido de humedad, el afrecho de yuca es un problema ambiental⁽¹¹³⁾ y requiere deshidratación previa para su aprovechamiento.⁽¹⁹⁾ Este se somete a un secado natural para luego comercializarlo como alimento animal.⁽¹¹³⁾ La composición del afrecho de yuca varía según la planta de procesamiento;⁽¹¹⁴⁾ pero son consistentes su elevada concentración de CNE y el bajo contenido de proteína (Cuadro 2). El afrecho de yuca, y la harina de yuca son similares, aunque el afrecho posee ligeramente un mayor contenido de proteína y fibra.⁽²⁰⁾ Se ha evaluado el uso de afrecho de *M. esculenta* en la dieta de pollos de engorda,⁽⁵⁾ codornices,⁽¹¹⁵⁾ patos,⁽¹¹⁶⁾ ovejas^(18, 110) y puercos.^(20, 117) Debido a su elevado contenido de almidón (600–700⁽²⁰⁾ o 540–700⁽¹¹⁴⁾ g(kg)^{-1} MS), este afrecho es una alternativa para remplazar el maíz y disminuir los costos de producción.⁽¹¹⁷⁾

Cuadro 2. Composición química del afrecho de *Manihot esculenta* (yuca)

Fuente	MS	Fracción del alimento (g(kg)^{-1} de MS) ¹						
		PC	CNE	EE	FDN	FDA	Lig	Cen
Carvalho et al. ⁽¹⁸⁾	888.0	24.0	840.0	8.0	113.0	66.0	10.0	15.0
Romero et al. ⁽²⁰⁾	980.0	30.2	—	5.9	—	—	—	32.6
Diarra y Devi ^{(114), 2}	—	16–20	54–70 ³	1.0	367.0	98.0	39.0	17–28
Abouelezz et al. ⁽¹¹⁶⁾	893.6	23.7	—	4.5	236.0	—	—	59.4

¹ MS: materia seca; PC: proteína cruda; CNE: carbohidratos no estructurales; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; Lig: lignina; Cen: cenizas.

² Revisión de literatura

³ Almidón

Potencial uso de ensilado mixto de botón de oro y afrecho de yuca en ganadería de leche

Los forrajes representan la más económica y abundante fuente de nutrientes para los animales en la zona intertropical⁽¹¹⁸⁾ y, en la mayoría de los sistemas de producción, aportan entre el 40 y 90 % de los requerimientos nutricionales de los rumiantes.⁽¹¹⁹⁾ Las variaciones climáticas en la zona intertropical evitan una producción constante de forraje y generan la necesidad de mantener reservas de alimento para que sean utilizadas durante los tiempos de sequía.⁽¹¹⁸⁾ La preservación del forraje pretende conservar los nutrientes digestibles de la manera más eficiente posible. La producción de heno y de ensilaje son las únicas opciones de las que disponen los ganaderos para conservar forrajes a gran escala.⁽¹¹⁹⁾ La elaboración de heno se basa en la deshidratación con aire,⁽¹²⁰⁾ y el ensilaje, en la fermentación anaeróbica.⁽⁴⁰⁾

El ensilaje ofrece ventajas frente a la producción de heno, debido a que se puede conservar mayor cantidad de forraje en un menor tiempo, la fabricación de ensilaje depende menos del clima, el proceso se adapta fácilmente a la mecanización,⁽¹¹⁹⁾ es más fácil de manejar y reduce sustancialmente el daño por lluvias y las pérdidas en campo.⁽¹¹⁸⁾ La mayor desventaja asociada al ensilaje corresponde a la pérdida del valor nutricional del forraje⁽¹¹⁹⁾ cuando se elabora o maneja inadecuadamente. Un insuficiente descenso en el pH o la presencia de oxígeno promueven el crecimiento de microorganismos indeseables que deterioran la calidad nutricional del material ensilado.⁽¹²¹⁾

La investigación en el área de ensilajes se ha concentrado en reducir la brecha entre el valor del forraje original y el resultante del ensilaje.⁽¹¹⁹⁾ El ácido láctico es un producto de la fermentación⁽¹²²⁾ que reduce rápidamente el pH de los forrajes ensilados.⁽¹²³⁾ El arte del ensilaje promueve la fermentación ácido-láctica al gasto de otras fermentaciones energéticamente más costosas,⁽¹²⁰⁾ pues la homofermentación permite mayor recuperación de MS.⁽¹²³⁾ La fermentación depende de la composición del forraje, la producción de ácido láctico, la disponibilidad de oxígeno y de un adecuado suministro de azúcar para producir suficiente fermentación ácida, por encima de la capacidad *buffer* del forraje.⁽¹²⁰⁾ Las bacterias ácido-lácticas promueven un ensilado de buena calidad.⁽¹²⁴⁾ Una buena preservación del forraje depende de una elevada producción de ácido láctico y de lograr un pH por debajo de 4.2 después de la fase de fermentación. Estos criterios producen ensilajes que usualmente son estables bajo condiciones anaeróbicas.⁽¹²⁵⁾

La aplicación de técnicas para ensilar en regiones tropicales es limitada, en gran parte debido a que los forrajes tropicales a menudo producen fermentación acética.⁽¹²⁶⁾ Las limitantes para ensilar forrajes tropicales son su baja cantidad de bacterias ácido-lácticas, los carbohidratos solubles y la MS,⁽¹²⁷⁾ sumados a la composición morfológica y la capacidad *buffer* de los forrajes.⁽¹²⁸⁾ La mayoría de los forrajes tropicales no producen buenos ensilajes, ya que no se comprimen bien,⁽¹²⁰⁾ y tienen bajo contenido de carbohidratos solubles, lo que provoca una fermentación heteroláctica, con la vía metabólica dominante hacia la producción de acetato.⁽¹²⁹⁾ El pH por encima de 5 representa una fermentación inestable, es característico de ensilajes con altos contenidos de carbohidratos estructurales y bajo contenido de carbohidratos solubles; estas condiciones dificultan el establecimiento de bacterias ácido-lácticas y permiten la proliferación y dominancia de coliformes, levaduras y mohos.⁽¹¹⁸⁾

El pH de ensilaje de *Tithonia diversifolia* (botón de oro) es mayor a 4.2⁽¹³⁰⁾ y según su variación durante el proceso de ensilaje, el pH es superior a 5, lo cual evidencia la dificultad para ensilar este forraje.⁽¹³¹⁾ El contenido de humedad afecta directamente la fermentación. Usualmente, los forrajes tropicales poseen un elevado contenido de humedad (> 80 %) que conduce a una fermentación butírica;⁽¹²⁷⁾ así, es evidente que la baja concentración de MS (Cuadro 1) del falso girasol es una limitante para su conservación a través del proceso de ensilaje. Aunque marchitar la planta es una estrategia factible para disminuir el contenido de humedad en cultivos de tallos cortos y delgados, algunas especies tropicales son altas, poseen tallos gruesos y son difíciles de marchitar.⁽¹³²⁾ Además, esta estrategia se dificulta con el régimen de lluvias en países como Colombia.

El uso de residuos agroindustriales permite incrementar el contenido de MS cuando los forrajes poseen elevada humedad, y aportan carbohidratos no fibrosos.⁽¹³³⁾ Ensilar la mezcla de forrajes y alimentos reduce los lixiviados, aumenta el potencial de consumo y la digestibilidad del ensilaje.⁽¹³²⁾ El afrecho de yuca tiene una elevada concentración de MS (Cuadro 2), que al mezclarlo con el botón de oro, incrementa la MS del material ensilado. Por otro lado, la exposición al aire puede reducir la calidad del ensilaje por la introducción de oxígeno, lo cual promueve el desarrollo de hongos, levaduras y bacterias aeróbicas. Durante esta exposición, el ensilaje puede incrementar la temperatura y el pH, y quizá pierda carbohidratos solubles, entonces, por estos factores, la calidad del ensilaje se reduce. El tiempo en que la temperatura del ensilaje aumenta (estabilidad aeróbica) afecta la pérdida de nutrientes en el silo, la probabilidad de producir efectos tóxicos por el crecimiento de hongos y el manejo para minimizar la exposición al aire.⁽¹²⁵⁾

La pobre fermentación hace que los forrajes sean más susceptibles a la alteración aeróbica.⁽¹¹⁸⁾ Mantener una pobre estabilidad aeróbica del silo causará baja recuperación de nutrientes y baja calidad del ensilaje, lo que conduce tanto a un bajo consumo de MS y como bajo desempeño del animal.⁽¹²⁵⁾ Se ha encontrado que *T. diversifolia* tiene buena estabilidad aeróbica.⁽¹³¹⁾ Los aditivos en la elaboración de ensilajes mejoran la calidad de la fermentación y la conservación del forraje.⁽¹³⁴⁾ El afrecho de *M. esculenta* se emplea para fabricar ensilajes y mejorar el proceso de fermentación.⁽¹⁸⁾ El azúcar de caña,⁽¹³⁵⁾ la melaza de caña⁽¹³⁴⁾ y el jugo fermentado de flora epífita mejoran la fermentación de forrajes con bajo contenido de MS y azúcar.^(136, 137) Se han evaluado aditivos en la preparación de ensilados mixtos de botón de oro y otras especies arbóreas,⁽¹³⁸⁾ pero no se encontraron reportes en la literatura en los que se evalúen aditivos al ensilar girasol mexicano mezclado con afrecho de mandioca (*M. esculenta*).

La información disponible sobre ensilaje de crisantemo de Nitobe en la dieta de ganado lechero es limitada.⁽⁴⁰⁾ Se ha evaluado la fermentación *in vitro* de ensilado de este crisantemo mezclado con caña azúcar o harina de arroz,⁽³⁴⁾ también con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestine*) y grasas poliinsaturadas.⁽⁴³⁾ No se encontraron reportes de ensilado mixto del Nitobe y el afrecho de este *Manihot*.

El uso del ensilaje mixto de quil amargo y afrecho de guacamota tiene gran potencial como sustituto parcial del concentrado en ganado de leche. Emplear este quil en la dieta de vacas lecheras a niveles de hasta el 15 % no afecta la producción de leche, ni el consumo de MS en vacas Holstein que pastan en kikuyo;⁽²⁹⁾ por otra parte, niveles de 15.4 % provocan un incremento en la concentración de los ácidos grasos C18:1_{t-11} y C18:2_{c-9, t-11},⁽⁷³⁾ reconocidos por su efecto nutracéutico.⁽⁸⁹⁾

En terneras lactantes, el suministro de ensilaje mezclado con concentrado, incrementa la densidad de las papilas ruminales y el consumo de MS cuando se compara con terneras que reciben ya sea concentrado o ensilaje.⁽¹³⁹⁾ Aunque no se encontró el uso de ensilado mixto del amargo quil y afrecho de casava en la cría de terneras lactantes, este ensilaje es prometedor debido al aporte de PC y CNE.

La maquinaria para cosechar los forrajes y la mano de obra contribuyen en gran medida al costo de producción de forrajes,⁽¹⁴⁰⁾ y la mecanización reduce los costos asociados a mano obra. Existen dificultades en el mercado de maquinaria en zonas montañosas debido al uso excesivo de máquinas, poca adaptabilidad, función única y lugares de uso relativamente fijo.⁽¹⁴¹⁾ Debido a la dificultad para emplear maquinaria en la zona montañosa, la producción de ensilado de botón de oro se lleva a cabo de forma manual para la cosecha, así como el transporte hacia el lugar de picado y elaboración del ensilaje.

Consideraciones finales

El ensilado mixto de *T. diversifolia* y afrecho de *M. esculenta* puede ser provechoso en la ganadería de leche por su potencial efecto benéfico a nivel nutricional, económico y medioambiental; además, puede promover la producción de leche con compuestos que poseen efecto benéfico para la salud del hombre, y facilitar la sostenibilidad del sistema de producción. Sin embargo, esta hipótesis deber ser desafiada experimentalmente en modelos animales. La calidad del ensilado se puede optimizar cosechando el botón de oro por edad fenológica, además de perfeccionar el proceso de ensilaje mediante la combinación de este falso girasol y el afrecho de yuca, así como con el uso de aditivos.

Disponibilidad de datos

Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de Investigación en Ciencias Agrarias-GRICA de la Universidad de Antioquia (Colombia), especialmente en la línea de investigación Sistemas Sostenibles de Producción Animal, por el apoyo en la ejecución de este trabajo.

Declaración de financiamiento

Esta investigación fue financiada por la Corporación Universitaria Santa Rosa de Cabal (www.unisarc.edu.co), comisión de estudios de doctorado (Acuerdo CS 4-2022), otorgada a GA Castaño. El financiador no participó en el diseño del estudio, la recopilación y el análisis de datos, la decisión de publicar o la preparación del manuscrito.

Conflicto de interés

Este trabajo forma parte de la tesis de doctorado en “Ciencias Animales” del primer autor. Los autores no tienen ningún conflicto de interés que declarar con respecto a esta publicación.

Contribuciones de los autores

Adquisición de fondos: GA Castaño.

Conceptualización: GA Castaño, WA Barragán, J Angulo, L Mahecha

Investigación: GA Castaño.

Redacción-borrador original: GA Castaño.

Redacción-revisión y edición: GA Castaño, WA Barragán, J Angulo, L Mahecha.

Referencias

1. Tarekegn GM, Karlsson J, Kronqvist C, Berglund B, Holtenius K, Strandberg E. Genetic parameters of forage dry matter intake and milk produced from forage in Swedish Red and Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(4):4424–4440. doi: 10.3168/jds.2020–19224.
2. Dyck BL, Colazo MG, Ambrose DJ, Dyck MK, Doepel L. Starch source and content in postpartum dairy cow diets: effects on plasma metabolites and reproductive processes. *Journal of Dairy Science*. 2011;94(9):4636–4646. doi: 10.3168/jds.20104056.
3. Ruiz JF, Cerón F, Barahona R, Bolívar DM. Caracterización de los sistemas de producción bovina de leche según el nivel de intensificación y su relación con variables económicas y técnicas asociadas a la sustentabilidad. *Livestock Research for Rural Development*. 2019;31(3):1–21.
4. Gómez LM, Posada SL, Olivera M, Rosero R, Aguirre P. Análisis de rentabilidad de la producción de leche de acuerdo con la variación de la fuente de carbohidrato utilizada en el suplemento de vacas holstein. *Revista de Medicina Veterinaria*. 2017;34(Suplemento):9–22. doi: 10.19052/mv.4251.

5. Betancourt JA, Núñez LA, Castaño GA. Suministro de ensilaje de *Tithonia diversifolia* sólo o mezclado con afrecho de yuca en la dieta de pollos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2017;20(2):203–213.
6. An LV, Lindberg JE. Ensiling of sweet potato leaves (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) and the nutritive value of sweet potato leaf silage for growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2004;17(4):497–503. doi: 10.5713/ajas.2004.497.
7. Karlsson J, Lindberg M, Åkerlind M, Holtenius K. Whole-lactation feed intake, milk yield, and energy balance of Holstein and Swedish Red dairy cows fed grass-clover silage and 2 levels of byproduct-based concentrate. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(10):8922–8937. doi: 10.3168/jds.2020-18204.
8. Fukumori R, Oba M, Izumi K, Otsuka M, Suzuki K, Gondaira S et al. Effects of butyrate supplementation on blood glucagon-like peptide-2 concentration and gastrointestinal functions of lactating dairy cows fed diets differing in starch content. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(4):3656–3667. doi: 10.3168/jds.2019-17677.
9. Olsen MA, Vhile SG, Porcellato D, Kidane A, Skeie SB. Feeding concentrates with different protein sources to high-yielding, mid-lactation Norwegian Red cows: effect on cheese ripening. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(4):4062–4073. doi: 10.3168/jds.2020-19226.
10. Hanlon ME, Moorby JM, McConochie HR, Foskolos A. Effects of addition of nutritionally improved straw in dairy cow diets at 2 starch levels. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(11):10233–10244. doi: 10.3168/jds.2020-18360.
11. Tricarico JM, Kebreab E, Wattiaux MA. MILK Symposium review: Sustainability of dairy production and consumption in low-income countries with emphasis on productivity and environmental impact. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(11):9791–9802. doi: 10.3168/jds.2020-18269.
12. Fessenden SW, Ross DA, Block E, Van Amburgh ME. Comparison of milk production, intake, and total-tract nutrient digestion in lactating dairy cattle fed diets containing either wheat middlings and urea, commercial fermentation by-product, or rumen-protected soybean meal. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(6):5090–5101. doi: 10.3168/jds.2019-17744.
13. Mejía E, Mahecha L, Angulo J. *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agronomía Mesoamericana*. 2016;28(1):289–302. doi: 10.15517/am.v28i1.22673.
14. Huertas MA, Mayorga OL, García YM, Holguín VA, Mora J. *In vitro* methane production from silages based on *Cenchrus purpureus* mixed with *Tithonia diversifolia* in different proportions. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*. 2021;43(e51322):1–11. doi: 10.4025/actascianimsci.v43i1.51322.
15. Ladeska V, Dewanti E, Sari DI. Pharmacognostical studies and determination of total flavonoids of paitan (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pharmacognosy Journal*. 2019;11(6):1256–1261. doi: 10.5530/pj.2019.11.195.
16. Cardona JL, Mahecha L, Angulo J. Estimación de metano en vacas pastoreando sistemas silvopastoriles con *Tithonia diversifolia* y suplementadas con grasas polinsaturadas. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Zulia*. 2019;29(2):107–118.
17. Angulo J, Nemocón AM, Posada SL, Mahecha L. Producción, calidad de leche y análisis económico de vacas holstein suplementadas con ensilaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) o ensilaje de maíz. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2022;20(1):27–40. doi: 10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1535.

18. Carvalho JN de, Pires AJV, Silva FF da, Veloso CM, Santos CL dos, Carvalho GGP de. Desempenho de ovinos mantidos com dietas com capim-elefante ensilado com diferentes aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2009;38(6):994–1000. doi: 10.1590/S1516-35982009000600004.
19. Torres P, Pérez A, Marmolejo LF, Ordoñez JA, García RE. Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos. *Revista EIA*. 2010;14(1):23–38.
20. Romero R, Alcívar E, Alpizar J. Afrecho de yuca como sustituto parcial del maíz en la alimentación de cerdos de engorde. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. 2017;Esp(2):54–61. doi: 10.33936/la_tecnica.v0i0.974.
21. Carranco ME, Barrita V, Fuente B, Ávila E, Sanginés L. Inclusión de harina de *Tithonia diversifolia* en raciones para gallinas ponedoras de primer ciclo y su efecto sobre la pigmentación de yema de huevo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2020;11(2):355–368. doi: 10.22319/rmcp.v11i2.5090.
22. Londoño J, Mahecha L, Angulo J. Desempeño agronómico y valor nutritivo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray para la alimentación de bovinos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*. 2019;11(1):28–41. doi: 10.24188/recia.v0.n0.2019.693.
23. Silva AM, Santos MV, Silva LD, Santos JB, Ferreira EA, Santos LDT. Effects of irrigation and nitrogen fertilization rates on yield, agronomic efficiency and morphophysiology in *Tithonia diversifolia*. *Agricultural Water Management*. 2021;248:106782. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106782.
24. Herrera RS, Verdecia DM, Ramírez JL. Chemical composition, secondary and primary metabolites of *Tithonia diversifolia* related to climate. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2020;54(3):425–433.
25. Rivera JE, Chará J, Gómez JF, Ruíz TE, Barahona R. Variabilidad fenotípica de *Tithonia diversifolia* A. Gray para la producción animal sostenible. *Livestock Research for Rural Development*. 2018;30(12):1–12.
26. Rivera JE, Ruíz TE, Chará J, Gómez JF, Barahona R. Biomass production and nutritional properties of promising genotypes of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray under different environments. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*. 2021;9(3):280–291. doi: 10.17138/tgft(9)280-291.
27. Gallego LA, Mahecha L, Angulo J. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*. 2017;28(1):213–222. doi: 10.15517/am.v28i1.21671.
28. Guatusmal C, Escobar LD, Meneses DH, Cardona JL, Castro E. Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana*. 2020;31(1):193–208. doi: 10.15517/am.v31i1.36677.
29. Gallego LA, Mahecha L, Angulo J. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con *Tithonia diversifolia*. *Agronomía Mesoamericana*. 2017;28(2):357–370. doi: 10.15517/ma.v28i2.25945.
30. Olabode OS, Sola O, Akanbi WB, Adesina GO, Babajide PA. Evaluation of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray for soil improvement. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2007;3(4):503–507.
31. Owoyele VB, Wuraola CO, Soladoye AO, Olaleye SB. Studies on the anti-inflammatory and analgesic properties of *Tithonia diversifolia* leaf extract. *Journal of Ethnopharmacology*. 2004;90(2–3):317–321. doi: 10.1016/j.jep.2003.10.010.

32. Oyewole IO, Ibidapo CA, Moronkola DO, Oduola AO, Adeoye GO, Anyasor GN et al. Anti-malarial and repellent activities of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) leaf extracts. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2008;2(8):171–175. doi: 10.5897/JMPR.9000104.
33. Roa ML, Corredor JR, Hernández MC. Physiological behavior of broilers using diets with *Tithonia diversifolia* and probiotics. *Archivos de Zootecnia*. 2020;69(268):406–417. doi: 10.21071/az.v69i268.5388.
34. Loya JL, Vega E, Gómez A, Navarrete R, Calvo C, García IA et al. Rumen fermentation and diet degradability in sheep fed sugarcane (*Saccharum officinarum*) silage supplemented with *Tithonia diversifolia* or alfalfa (*Medicago sativa*) and rice polishing. *Austral Journal of Veterinary Sciences*. 2020;52(2):55–61. doi: 10.4067/S0719-81322020000200055.
35. Arief A, Rusdimansyah R, Sowmen S, Pazla R, Rizqan RP. Milk production and quality of Etawa crossbreed dairy goat that given *Tithonia diversifolia* corn waste and concentrate based palm kernel cake. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2020;21(9):4004–4009. doi: 10.13057/biodiv/d210910.
36. Khan FV, Fualefac DH, Augustin KS, Matho A, Florence F, Hervé MK et al. Effects of graded levels of boiled wild sunflower (*Tithonia diversifolia* Hemsl A. Gray) leaf meal on growth and carcass characteristics of rabbits. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 2019;41(2):6940–6950. doi: 10.35759/JAnmPLSci.v41-2.7.
37. Montero JV, Macas KM, González KT, Mendoza CF. Evaluación del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en la alimentación de cuyes. *Idesia (Arica)*. 2019;37(4):5–9. doi: 10.4067/S0718-34292019000400005.
38. Gallego LA, Machena L, Angulo J. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agronomía Mesoamericana*. 2014;25(2):393–403. doi: 10.15517/am.v25i2.15454.
39. Oluwasola TA, Dairo FAS. Proximate composition, amino acid profile and some anti-nutrients of *Tithonia diversifolia* cut at two different times. *African Journal of Agricultural Research*. 2016;11(38):3659–3663. doi: 10.5897/AJAR2016.10910.
40. Holguín VA, Cuchillo M, Mazabel J, Quintero S, Mora J. Efecto de la mezcla ensilada de *Penisetum purpureum* y *Tithonia diversifolia* sobre la fermentación ruminal *in vitro* y su emisión de metano en el sistema RUSITEC. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2020;11(1):19–37. doi: 10.22319/rmcp.v11i1.4740.
41. Juárez FI, Pell AN, Blake RW, Montero M, Pinos JM. *In vitro* ruminal degradation of neutral detergent fiber insoluble protein from tropical pastures fertilized with nitrogen. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2018;9(3):588–600. doi: 10.22319/rmcp.v9i3.4490.
42. Arias LM, Alpízar A, Castillo MÁ, Camacho MI, Arronis V, Padilla J. Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. *Pastos y Forrajes*. 2018;41(4):266–272.
43. Cardona JL, Mahecha L, Angulo J. Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*. 2017;28(2):405–426. doi: 10.15517/ma.v28i2.25697.
44. Castaño C, Cardona J. Engorde de conejos alimentados con *Tithonia diversifolia*, *Trichanthera gigantea* y *Arachis pintoi*. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*. 2015;18(1):147–154. doi: 10.31910/rudca.v18.n1.2015.463.

45. Elizondo JA. Calidad nutricional y consumo por cabras de forraje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). *Agronomía Costarricense*. 2021;5(2):135–142. doi: 10.15517/rac.v45i2.47774.
46. Mahecha L, Londoño JD, Angulo J. Agronomic and nutritional assessment of an intensive silvopastoral system: *Tithonia diversifolia*, *Sambucus nigra*, *Cynodon nlemfuensis*, and *Urochloa plantaginea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2022;92:37–47. doi: 10.1007/s40011-021-01282-7.
47. Mahecha L, Escobar JP, Suárez JF, Restrepo LF. *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). *Livestock Research for Rural Development*. 2007;19(2):16.
48. Navas A, Montaña V. Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2019;30(2):721–732. doi: 10.15381/rivep.v30i2.15066.
49. Ramos L, Apráez JE, Cortes KS, Apráez JJ. Nutritional, antinutritional and phenological characterization of promising forage species for animal feeding in a cold tropical zone. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 2021;38(1):86–96. doi: 10.22267/rcia.213801.152.
50. National Research Council. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. Washington, DC: National Academies Press; 2001.
51. Avellaneda Y, Mancipe EA, Vargas J de J. Effect of regrowth period on morphological development and chemical composition of kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) in Colombian's highlands. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 2020;15(2):23–37. doi: 10.21615/cesmvz.15.2.2.
52. Vargas J, Pabon ML, Carulla JE. Methane emissions from lambs fed kikuyu hay alone or mixed with lotus hay. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 2021;29(1–2):1–9. doi: 10.53588/alpa.291201.
53. Vargas J de J, Sierra AM, Mancipe EA, Avellaneda Y. El kikuyo, una gramínea presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 2018;13(2):137–156. doi: 10.21615/cesmvz.13.2.4.
54. Cabanilla MG, Meza CJ, Avellaneda JH, Meza MT, Vivas W, Meza GA. Desempeño agronómico y valor nutricional en *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray bajo un sistema de corte. *Ciencia y Tecnología*. 2021;14(1):71–78. doi: 10.18779/cyt.v14i1.450.
55. Vargas VT, Pérez P, López S, Castillo E, Cruz C, Jarillo J. Producción y calidad nutritiva de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en tres épocas del año y su efecto en la preferencia por ovinos Pelibuey. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2022;13(1):240–257. doi: 10.22319/rmcp.v13i1.5906.
56. Botero JM, Gómez A, Botero MA. Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2019;10(3):789–800. doi: 10.22319/rmcp.v10i3.4667.
57. Cerdas R. Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*. 2018;19(39):171–187. doi: 10.15517/isucr.v19i39.34076.
58. Kammes KL, Allen MS. Rates of particle size reduction and passage are faster for legume compared with cool-season grass, resulting in lower rumen fill and less

- effective fiber. *Journal of Dairy Science*. 2012;95(6):3288–3297. doi: 10.3168/jds.2011-5022.
59. Maldini G, Allen MS. Effects of rate and amount of propionic acid infused into the rumen on feeding behavior of Holstein cows in the postpartum period. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(9):8120–8126. doi: 10.3168/jds.2019-16307.
 60. McKay ZC, Lynch MB, Mulligan FJ, Rajauria G, Miller C, Pierce KM. The effect of concentrate supplementation type on milk production, dry matter intake, rumen fermentation, and nitrogen excretion in late-lactation, spring-calving grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(6):5042–5053. doi: 10.3168/jds.2018-15796.
 61. van Niekerk JK, Middeldorp M, Guan LL, Steele MA. Prewaning to postweaning rumen papillae structural growth, ruminal fermentation characteristics, and acute-phase proteins in calves. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(3):3632–3645. doi: 10.3168/jds.2020-19003.
 62. Górka P, Kowalski ZM, Zabielski R, Guilloteau P. Invited review: Use of butyrate to promote gastrointestinal tract development in calves. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(6):4785–4800. doi: 10.3168/jds.2017-14086.
 63. Khan MA, Lee HJ, Lee WS, Kim HS, Kim SB, Ki KS et al. Starch source evaluation in calf starter: I. Feed consumption, body weight gain, structural growth, and blood metabolites in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(11):5259–5268. doi: 10.3168/jds.2007-0338.
 64. Hassan F, Arshad MA, Ebeid HM, Rehman MS, Khan MS, Shahid S et al. Phytogetic additives can modulate rumen microbiome to mediate fermentation kinetics and methanogenesis through exploiting diet–microbe interaction. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:576801. doi: 10.3389/fvets.2020.575801.
 65. Khan MA, Lee HJ, Lee WS, Kim HS, Ki KS, Hur TY et al. Structural growth, rumen development, and metabolic and immune responses of Holstein male calves fed milk through step-down and conventional methods. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(7):3376–3387. doi: 10.3168/jds.2007-0104.
 66. Lesmeister KE, Tozer PR, Heinrichs AJ. Development and analysis of a rumen tissue sampling procedure. *Journal of Dairy Science*. 2004;87(5):1336–1344. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73283-X.
 67. Benchaar C, McAllister TA, Chouinard PY. Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or *Yucca schidigera* saponin extracts. *Journal of Dairy Science*. 2008;91(12):4765–4777. doi: 10.3168/jds.2008-1338.
 68. Graziotin RCB, Halfen J, Rosa F, Schmitt E, Anderson JL, Ballard V et al. Altered rumen fermentation patterns in lactating dairy cows supplemented with phytochemicals improve milk production and efficiency. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(1):301–312. doi: 10.3168/jds.2019-16996.
 69. Ahanger MA, Bhat JA, Siddiqui MH, Rinklebe J, Ahmad P. Integration of silicon and secondary metabolites in plants: a significant association in stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 2020;71(21):6758–6774. doi: 10.1093/jxb/eraa291.
 70. Ferreira AL, Lobato AB, Lopes R, de Menezes É, Ferreira CW, Moreira SS. Chemical characterization, antioxidant, cytotoxic and microbiological activities of essential oil of leaf of *Tithonia diversifolia* A. Gray (*Asteraceae*). *Pharmaceuticals*. 2019;12(1):34. doi: 10.3390/ph12010034.

71. Masood A, Tasleem F, Patricia OA, Ali MS, Hussain S, Siddiqui F et al. Assessment of pharmacological potential and safety profile of *Tithonia diversifolia*. Pakistan Journal of Pharmacology. 2017;34(1):45–58.
72. Rivera JE, Villegas G, Chará J, Durango SG, Romero MA, Verchot L. 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. 2022;6(4):1–12. doi: 10.1093/tas/txac139.
73. Ribeiro RS, Terry SA, Sacramento JP, Silveira SRe, Bento CBP, da Silva E, et al. *Tithonia diversifolia* as a supplementary feed for dairy cows. PLoS ONE. 2016;11(12):e0165751. doi: 10.1371/journal.pone.0165751.
74. Terry SA, Ribeiro RS, Freitas DS, Delarota GD, Pereira LGR, Tomich TR, et al. Effects of *Tithonia diversifolia* on *in vitro* methane production and ruminal fermentation characteristics. Animal Production Science. 2016;56(3):437-441. doi: 10.1071/AN15560.
75. Roopa MS, Shubharani R, Rhetso T, Sivaram V. Comparative analysis of phytochemical constituents, free radical scavenging activity and GC-MS analysis of leaf and flower extract of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2020;11(10):5081–5090. doi: 10.13040/IJPSR.0975-8232.11(10)..5081-90.
76. Pretti IR, da Luz AC, Jamal CM, Batitucci M do CP. Variation of biochemical and antioxidant activity with respect to the phenological stage of *Tithonia diversifolia* Hemsl. (*Asteraceae*) populations. Industrial Crops and Products. 2018;121(1):241–249. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.04.080.
77. Jurado P, Sørensen PM. Characterization of saponin foam from *Saponaria officinalis* for food applications. Food Hydrocolloids. 2020;101:105541. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.105541.
78. Holtshausen L, Chaves AV, Beauchemin KA, McGinn SM, McAllister TA, Odongo NE et al. Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. Journal of Dairy Science. 2009;92(6):2809–2821. doi: 10.3168/jds.2008-1843.
79. Guyader J, Eugène M, Doreau M, Morgavi DP, Gérard C, Martin C. Tea saponin reduced methanogenesis *in vitro* but increased methane yield in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 2017;100(3):1845–1855. doi: 10.3168/jds.2016-11644.
80. Kozłowska M, Cieślak A, Józwick A, El-Sherbiny M, Stochmal A, Oleszek W et al. The effect of total and individual alfalfa saponins on rumen methane production. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020;100(5):1922–1930. doi: 10.1002/jsfa.10204.
81. Firkins JL. Invited review: Advances in rumen efficiency. Applied Animal Science. 2021;37(4):388–403. doi: 10.15232/aas.2021-02163.
82. Dlamini BS, Chen C-R, Shyu DJH, Chang C-I. Flavonoids from *Tithonia diversifolia* and their antioxidant and antibacterial activity. Chemistry of Natural Compounds. 2020;56(5):906–908. doi: 10.1007/s10600-020-03182-0.
83. Verdecia DM, Olmo C, Hernández LG, Ojeda A, Ramírez JL, Martínez Y. Chemical composition of the foliage meal of *Tithonia diversifolia*. Enfoque UTE. 2022;13(4):1–10. doi: 10.29019/enfoqueute.856.
84. Aguerre MJ, Duval B, Powell JM, Vadas PA, Wattiaux MA. Effects of feeding a quebracho–chestnut tannin extract on lactating cow performance and nitrogen utiliza-

- tion efficiency. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(3):2264–2271. doi: 10.3168/jds.2019-17442.
85. Schmitt MH, Ward D, Shrader AM. Salivary tannin-binding proteins: a foraging advantage for goats? *Livestock Science*. 2020;234:103974. doi: 10.1016/j.livsci.2020.103974.
 86. Menci R, Coppa M, Torrent A, Natalello A, Valenti B, Luciano G et al. Effects of two tannin extracts at different doses in interaction with a green or dry forage substrate on *in vitro* rumen fermentation and biohydrogenation. *Animal Feed Science and Technology*. 2021;278:114977. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114977.
 87. Roca AI, Dillard SL, Soder KJ. Ruminal fermentation and enteric methane production of legumes containing condensed tannins fed in continuous culture. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(8):7028–7038. doi: 10.3168/jds.2019-17627.
 88. Menci R, Natalello A, Luciano G, Priolo A, Valenti B, Difalco A et al. Cheese quality from cows given a tannin extract in 2 different grazing seasons. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(9):9543–9555. doi: 10.3168/jds.2021-20292.
 89. Castaño GA, Pabón ML, Carulla JE. Concentration of trans-vaccenic and rumenic acids in the milk from grazing cows supplemented with palm oil, rice bran or whole cottonseed. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2014;43(6):315–326. doi: 10.1590/S1516-35982014000600006.
 90. Tedeschi LO, Muir JP, Naumann HD, Norris AB, Ramírez-Restrepo CA, Mertens-Talcott SU. Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:628445. doi: 10.3389/fvets.2021.628445.
 91. Sousa LB, Albuquerque ML, de Oliveira HG, Sousa LB, e Silva LS, Machado FS et al. *Prosopis juliflora* piperidine alkaloid extract levels in diet for sheep change energy and nitrogen metabolism and affect enteric methane yield. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022;102(12):5132–5140. doi: 10.1002/jsfa.11864.
 92. Rashama C, Ijoma GN, Matambo TS. The effects of phytochemicals on methanogenesis: insights from ruminant digestion and implications for industrial biogas digesters management. *Phytochemistry Reviews*. 2021;20(6):1245–1271. doi: 10.1007/s11101-021-09744-6.
 93. Piao S, Liu Q, Chen A, Janssens IA, Fu Y, Dai J et al. Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. *Global Change Biology*. 2019;25(6):1922–1940. doi: 10.1111/gcb.14619.
 94. Enriquez D, Cruz T, Teixeira DL, Steinfort U. Phenological stages of Mediterranean forage legumes, based on the BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 2020;176(3):357–368. doi: 10.1111/aab.12578.
 95. Asaadi AM, Dadkhah AR. The study of forage quality of *Haloxylon aphyllum* and *Eurotia ceratoides* in different phenological stages. *Research Journal of Biological Sciences*. 2010;5(7):470–475. doi: 10.3923/rjbsci.2010.470.475.
 96. Arzani H, Zohdi M, Fish E, Zahedi Amiri GH, Nikkhah A, Wester D. Phenological effects on forage quality of five grass species. *Journal of Range Management*. 2004;57(6):624–629. doi: 10.2111/1551-5028(2004)057[0624:peofqo]2.0.co;2.
 97. Andueza D, Picard F, Note P, Carrère P. Relationship between the chemical composition, nutritive value and the maturity stage of six temperate perennial grasses during their first growth cycle along an altitude gradient. *European Journal of Agronomy*. 2021;130:126364. doi: 10.1016/j.eja.2021.126364.

98. Verdecia DM, Ramírez JL, Leonard I, Álvarez Y, Bazán Y, Bodas R et al. Rendimiento productivo y composición química del arbusto forrajero *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Cauto. REDVET: Revista Electrónica de Veterinaria. 2011;12(5):1–13.
99. Temel S, Surmen M, Tan M. Effects of growth stages on the nutritive value of specific halophyte species in saline grasslands. Journal of Animal and Plant Sciences. 2015;25(5):1419–1428.
100. Coblenz WK, Akins MS, Kalscheur KF, Brink GE, Cavadini JS. Effects of growth stage and growing degree day accumulations on triticale forages: 2. *In vitro* disappearance of neutral detergent fiber. Journal of Dairy Science. 2018;101(10):8986–9003. doi: 10.3168/jds.2018-14867.
101. Kara K. The investigation of fatty acids compositions of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) herbage harvested at different phenological stages. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 2021;68(3):259–267. doi: 10.33988/auvfd.753067.
102. Ayeni AO, Lordbanjou DT, Majek BA. *Tithonia diversifolia* (Mexican sunflower) in south-western Nigeria: occurrence and growth habit. Weed Research. 1997;37(6):443–449. doi: 10.1046/j.1365-3180.1997.d01-72.x.
103. Ruiz TE, Torres V, Febles G, Díaz H, González J. Empleo de la modelación para estudiar el crecimiento del material vegetal 23 de *Tithonia diversifolia*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2012;46(1):23–29.
104. Ruiz TE, Torres V, Febles G, Díaz H, González J. Utilización de la modelación para estudiar el crecimiento de *Tithonia diversifolia* colecta 17. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2012;46(3):243–247.
105. Ruiz TE, Torres V, Febles G, Díaz H, González J. Estudio del comportamiento de ecotipos destacados de *Tithonia diversifolia* en relación con algunos componentes morfológicos. Livestock Research for Rural Development. 2013;25(9):154.
106. Ruiz TE, Torres V, Febles G, Díaz H, Sarduy L, González J et al. Utilización de la modelación para estudiar el crecimiento de *Tithonia diversifolia* colecta 10. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 2012;46(3):237–242.
107. Verdecia DM, Herrera RS, Ramírez JL, Bodas R, Leonard I, Giráldez FJ et al. Yield components, chemical characterization and polyphenolic profile of *Tithonia diversifolia* in Valle del Cauto, Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science. 2018;52(4):457–471.
108. Torres P, Valencia YC, Canchala T. Modelación de la separación de partículas no retenidas en la etapa de sedimentación en canales: proceso de extracción de almidón de yuca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2014;12(2):81–89.
109. García C, Salcedo J, Alvis A. Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2018;16(1):62–67. doi: 10.18684/bsaa.v16n1.1146.
110. Sikiru AB, Yousuf MB, Ademola SG. Cassava bran–fish processing waste as dry season feed resources for sheep in Nigeria Southern Guinea Savannah. Journal of Rangeland Science. 2018;8(1):11–22.
111. Chiquiza LN, Montoya OI, Restrepo C, Orozco F. Estudio de la microbiota del proceso de producción de almidón agro de yuca. Información Tecnológica. 2016;27(5):3–14. doi: 10.4067/S0718-07642016000500002.
112. Serna T, Contreras Y, Lozano M, Salcedo J, Hernández J. Variación del método de secado en la fermentación espontánea de almidón nativo de yuca. Ciencia y Tecnología Alimentaria. 2017;15(1):50. doi: 10.24054/16927125.v1.n1.2017.2962.

113. Salcedo JG, Contreras K, García A, Fernandez A. Modelado de la cinética de secado del afrecho de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2016;15(3):883–891.
114. Diarra SS, Devi A. Feeding value of some cassava by-products meal for poultry: a review. Pakistan Journal of Nutrition. 2015;14(10):735–741. doi: 10.3923/pjn.2015.735.741.
115. Acuña LL, Hurtado VL, Torres DM. Evaluación de la calidad del huevo de codornices (*Coturnix coturnix* japonica) utilizando algunos alimentos energéticos. Revista Sistemas de Producción Agroecológicos. 2014;5(2):30–43. doi: 10.22579/22484817.653.
116. Abouelezz KFM, Wang S, Xia WG, Chen W, Elokil AA, Zhang YN et al. Effects of dietary inclusion of cassava starch-extraction-residue meal on egg production, egg quality, oxidative status, and yolk fatty acid profile in laying ducks. Poultry Science. 2022;101(9):102015. doi: 10.1016/j.psj.2022.102015.
117. Rosales JM, Urbieta H. Comparativo de niveles de afrecho de yuca en raciones para cerdos en crecimiento y engorde, en la zona de Pucallpa. Folia Amazonica. 1993 5(1–2):159–169. doi: 10.24841/fa.v5i1-2.238.
118. González G, Rodríguez AA. Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. Journal of Dairy Science. 2003;86(3):926–933. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73675-3.
119. Charmley E. Towards improved silage quality—A review. Canadian Journal of Animal Science. 2001;81(2):157–168. doi: 10.4141/A00-066.
120. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca, Nueva York: Cornell University Press; 1994. 476 pp.
121. Driehuis F, Wilkinson JM, Jiang Y, Ogunade I, Adesogan AT. Silage review: animal and human health risks from silage. Journal of Dairy Science. 2018;101(5):4093–4110. doi: 10.3168/jds.2017-13836.
122. Bernardes TF, Gervásio JRS, De Morais G, Casagrande DR. Technical note: a comparison of methods to determine pH in silages. Journal of Dairy Science. 2019;102(10):9039–9042. doi: 10.3168/jds.2019-16553.
123. Dong Z, Shao T, Li J, Yang L, Yuan X. Effect of alfalfa microbiota on fermentation quality and bacterial community succession in fresh or sterile Napier grass silages. Journal of Dairy Science. 2020;103(5):4288–4301. doi: 10.3168/jds.2019-16961.
124. Kaewpila C, Khota W, Gunun P, Kesorn P, Cherdthong A. Strategic addition of different additives to improve silage fermentation, aerobic stability and *in vitro* digestibility of Napier grasses at late maturity stage. Agriculture. 2020;10(7):262. doi: 10.3390/agriculture10070262.
125. Higginbotham GE, Mueller SC, Bolsen KK, DePeters EJ. Effects of inoculants containing propionic acid bacteria on fermentation and aerobic stability of corn silage. Journal of Dairy Science. 1998;81(8):2185–2192. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75797-2.
126. Li D, Ni K, Zhang Y, Lin Y, Yang F. Fermentation characteristics, chemical composition and microbial community of tropical forage silage under different temperatures. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2019;32(5):665–674. doi: 10.5713/ajas.18.0085.
127. Khota W, Pholsen S, Higgs D, Cai Y. Natural lactic acid bacteria population of tropical grasses and their fermentation factor analysis of silage prepared with cellulase

- and inoculant. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(12):9768–9781. doi: 10.3168/jds.2016-11180.
128. Arroquy JI, Cornacchione MV, Colombatto D, Kunst C. Chemical composition and *in vitro* ruminal degradation of hay and silage from tropical grasses. *Canadian Journal of Animal Science*. 2014;94(4):705–715. doi: 10.4141/cjas-2014-014.
129. Adesogan AT, Krueger N, Salawu MB, Dean DB, Staples CR. The influence of treatment with dual purpose bacterial inoculants or soluble carbohydrates on the fermentation and aerobic stability of bermudagrass. *Journal of Dairy Science*. 2004;87(10):3407–3416. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73476-1.
130. Quiñones JD, Cardona JL, Castro E. Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 2020;22(3):285–301. doi: 10.18271/ria.2020.662.
131. Castaño GA. Efecto del proceso de ensilaje sobre el valor nutricional de *Pennisetum purpureum*, *Tithonia diversifolia* y *Trichanthera gigantea*. *Investigaciones Unisarc*. 2012;10(2):22–36.
132. Daniel JLP, Bernardes TF, Jobim CC, Schmidt P, Nussio LG. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass and Forage Science*. 2019;74(2):188–200. doi: 10.1111/gfs.12417.
133. Araújo JAS, Almeida JCC, Reis RA, Carvalho CAB, Barbero RP. Harvest period and baking industry residue inclusion on production efficiency and chemical composition of tropical grass silage. *Journal of Cleaner Production*. 2020;266:121953. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121953.
134. Gao R, Wang B, Jia T, Luo Y, Yu Z. Effects of different carbohydrate sources on alfalfa silage quality at different ensiling days. *Agriculture*. 2021;11(1):58. doi: 10.3390/agriculture11010058.
135. Yitbarek MB, Tamir B. Silage additives: review. *Open Journal of Applied Sciences*. 2014;4(5):258–274. doi: 10.4236/ojapps.2014.45026.
136. Bureenok S, Suksombat W, Kawamoto Y. Effects of the fermented juice of epiphytic lactic acid bacteria (FJLB) and molasses on digestibility and rumen fermentation characteristics of ruzigrass (*Brachiaria ruziziensis*) silages. *Livestock Science*. 2011;138(1–3):266–271. doi: 10.1016/j.livsci.2011.01.003.
137. Wang J, Wang JQ, Zhou H, Feng T. Effects of addition of previously fermented juice prepared from alfalfa on fermentation quality and protein degradation of alfalfa silage. *Animal Feed Science and Technology*. 2009;151(3–4):280–290. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2009.03.001.
138. Cardona JL, Escobar LD, Guatusmal C, Meneses DH, Ríos LM, Castro E. Efecto de la edad de cosecha en la digestibilidad y fraccionamiento energético de dos arbustivas forrajeras en Colombia. *Pastos y Forrajes*. 2020;43(3):254–262.
139. Kehoe SI, Dill KA, Breaker JD, Suen G. Effects of corn silage inclusion in preweaning calf diets. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(5):4131–4137. doi: 10.3168/jds.2018-15799.
140. Buckmaster DR. Technical note: equipment matching for silage harvest. *Applied Engineering in Agriculture*. 2009;25(1):31–36. doi: 10.13031/2013.25423.
141. Lv B, Wei H, Li Y, Xue Z. Symbiotic exploration of silage machinery based on technological system evolution. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2066(1):012087. doi: 10.1088/1742-6596/2066/1/012087.