

## Revisión bibliográfica

# *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo<sup>1</sup>

## *Tithonia diversifolia*: specie for grazing in silvopastoral systems and methods for estimating consumption

Estefanía Mejía-Díaz<sup>2</sup>, Liliana Mahecha-Ledesma<sup>2</sup>, Joaquín Angulo-Arizala<sup>2</sup>

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue recopilar avances investigativos sobre aspectos agronómicos, nutricionales y productivos de *T. diversifolia* Hemsl. A Gray en sistemas silvopastoriles (SSP) como estrategia de producción ganadera y conocer metodologías para estimar el consumo de forraje de vacas bajo SSP. La introducción de sistemas silvopastoriles proporciona una vegetación estratificada, además de generar diversos bienes, servicios ambientales y bienestar animal, constituyéndose, desde el punto de vista productivo, ecológico, económico y social, en una de las modalidades más prometedoras de los sistemas agroforestales. En la presente revisión se realizó una descripción de la arbustiva *T. diversifolia* Hemsl. A Gray, como especie estratégica para ser introducida en los sistemas silvopastoriles sean estos de baja o alta densidad, la cual por su calidad composicional ha sido reportada como una arbustiva con potencial para ser utilizada en la nutrición de rumiantes, teniendo un posible efecto positivo sobre índices productivos y económicos. Se discutieron tres técnicas utilizadas para estimar el consumo de forraje por bovinos en pastoreo, las cuales pueden ser aplicadas tanto en sistemas tradicionales como en sistemas silvopastoriles.

**Palabras claves:** producción sostenible, producción de biomasa, método de indicadores, método de comportamiento al pastoreo.

### ABSTRACT

The aim of this study was to collect research advances on agronomic, nutritional and productive aspects of *T. diversifolia* Hemsl. A Gray in silvopastoral systems (SSP) as a strategy for livestock production and meet methodologies to estimate forage intake of cows under SSP. The introduction of silvopastoral systems provides a layered vegetation and generate various goods, environmental services and animal welfare from the point of becoming productive, ecological, economic and social in one of the most promising ways of agroforestry systems view. In this review a description of *T. diversifolia* Hemsl shrubby was performed. A Gray, as a strategic species to be introduced in silvopastoral systems of low or high density, because of its compositional quality that has been reported as a shrub with potential for use in ruminant nutrition, having a possible positive effect on productive and economic indices. Also, three techniques used to estimate forage intake by grazing cattle, which can be applied in both traditional systems and silvopastoral systems were discussed.

**Keywords:** sustainable production, biomass production, method of indicators, method of grazing behavior.

<sup>1</sup> Recibido: 10 de febrero, 2016. Aceptado: 5 de julio, 2016. Este trabajo formó parte del proyecto “Fortalecimiento de la cadena productiva de leche del Distrito del Norte Antioqueño” financiado por el Sistema General de Regalías, del cual se desglosa la tesis de grado de Maestría en Ciencias Animales del primer autor titulada “Productividad de un sistema silvopastoril de baja densidad de *T. diversifolia* y pasto *C. clandestinum* en una lechería especializada de trópico alto”, en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación en Ciencias Agrarias - GRICA. AA 1126, Medellín, Colombia. estefamejiadiaz@hotmail.com, liliana.mahecha@udea.edu.co, joaquin.angulo@udea.edu.co (autor para correspondencia).



## INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en América Latina se ha relacionado con altas deforestaciones y con bajos niveles de productividad y rentabilidad. Es frecuente observar en los sistemas de producción del trópico, inadecuadas prácticas de manejo que conllevan a un deterioro de los recursos naturales, menor sostenibilidad y menor biodiversidad, afectando la estabilidad ecológica, social, política y económica de los países del tercer mundo (Alonso, 2011).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) han despertado un considerable interés, no solo en la comunidad científica, sino también en los productores ganaderos, debido a la necesidad de diseñar y explorar nuevas alternativas para la producción agrícola y pecuaria, que sean biológica, económica y ecológicamente más sostenibles que los sistemas convencionales. Es por esto que los SSP, al integrar de manera armónica árboles o arbustos, pastos y animales (Mohan y Ramachandran, 2011), son considerados una de las modalidades más prometedoras de los sistemas agroforestales, presentando múltiples ventajas frente a los sistemas tradicionales (Alonso, 2011).

La introducción de sistemas silvopastoriles, entre ellos la siembra de árboles en los potreros, el uso de cercas vivas, cortinas rompevientos y bancos forrajeros, al tiempo que mejoran la calidad nutricional de la dieta, también ayudan a liberar áreas degradadas para permitir en ellas la regeneración natural, constituirse como sumideros de carbono y hábitat de diversos organismos o corredores que permiten la conectividad entre ecosistemas más estables (Mohan y Ramachandran, 2011). La razón fundamental para la diversificación de los SSP se asocia con la complementariedad en el uso de recursos, que involucra el manejo y la utilización de los recursos naturales (cultivos, animales, tierra y agua), en los que las interacciones sinérgicas tienen un mayor efecto positivo (Alonso, 2011).

El análisis de la creciente información de los SSP, demuestra la mayor disponibilidad de forraje y de calidad superior para condiciones tropicales, lo que se ve reflejado de manera positiva en los resultados productivos obtenidos en estos sistemas (Mahecha et al., 2000). En este ámbito, la incorporación de recursos forrajeros como árboles y/o arbustos multipropósitos, pueden convertirse en una fuente alimenticia para los

animales, como es el caso de la *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray, arbustiva no leguminosa, cuyo uso en la alimentación animal es cada vez más generalizado, debido a su valor nutricional, su rusticidad y a la elevada tasa de producción de biomasa (Calle y Murgueitio, 2010). Esta arbustiva se ha venido expandiendo e introduciendo en los últimos años en SSP en trópico alto (>1500 msnm), como barreras rompevientos o cercas vivas, más no al interior de los potreros, de manera intensiva o en una baja densidad. Sin embargo, se evidencia el potencial de la *T. diversifolia* en la alimentación de vacas lecheras de alta producción, lo que podría generar un impacto positivo sobre los sistemas de ganadería lechera intensiva, al incorporarse como fuente alimenticia (Gallego et al., 2014).

Teniendo en cuenta la posibilidad de incrementar la oferta de forraje en estos SSP, se hace importante a su vez estimar el consumo de materia seca de los animales en pastoreo, teniendo esto como herramienta para identificar las posibles limitaciones nutricionales y realizar las correcciones respectivas.

Esta revisión tuvo como objetivo recopilar avances investigativos sobre aspectos agronómicos, nutricionales y productivos de *T. diversifolia* Hemsl. A Gray en sistemas silvopastoriles (SSP) como estrategia de producción ganadera y presentar metodologías para estimar el consumo de forraje de vacas bajo SSP.

## RESULTADOS AGRONÓMICOS, NUTRICIONALES Y USO DE LA *T. diversifolia* EN LA PRODUCCIÓN BOVINA

### Resultados agronómicos

Existe un interés creciente en buscar recursos alimenticios que puedan sustituir parcialmente el uso de alimentos concentrados en la alimentación animal y generar diversos servicios ambientales, como producción de biomasa y restauración de suelos degradados, con el fin de disminuir los costos de producción en los sistemas ganaderos, principalmente para los pequeños productores. Existen diversas plantas, entre árboles y arbustos, que se caracterizan por su alto valor nutricional y múltiples usos en la

naturaleza; entre estas se destacan las leguminosas y otras especies perennes como la *T. diversifolia*, especie arbustiva muy ramificada que puede alcanzar alturas de hasta 3 o 4 m (Murgueitio, 2005; Ferreira, 2015), perteneciente a la familia Asteraceae (Ramírez et al., 2010), y es comúnmente conocida en Colombia como botón de oro o mirasol.

La *T. diversifolia* es originaria de México y está ampliamente distribuida en los trópicos húmedos y subhúmedos en Centro y Sur América, Asia y África (Jama et al., 2000). Es un arbusto multipropósito, el cual ha sido comúnmente usado en cercas vivas (Murgueitio, 2005), para la restauración de suelos (Ramírez et al., 2010), como abono verde y en la alimentación animal en sistemas de corte y acarreo (Murgueitio, 2005; Mahecha y Rosales, 2006). Sin embargo, esta especie forrajera presenta un potencial para su implementación en sistemas de pastoreo directo asociada con gramíneas y leguminosas en arreglos silvopastoriles.

La *T. diversifolia* se puede propagar mediante el uso de material vegetativo (Ríos y Salazar, 1995) o mediante semilla sexual, ya sea en siembra directa o por almácigos, obteniendo porcentajes de supervivencia

superior al 90%, lo cual muestra la aplicabilidad de estos métodos (Gallego et al., 2015).

Esta planta presenta una característica importante, pues consigue absorber el fósforo del suelo, a pesar de que no está disponible para otras especies, posiblemente por las asociaciones con hongos micorrízicos y a la presencia de ácidos orgánicos en las raíces (Ferreira, 2015). Las asociaciones con hongos micorrizógenos no solo estarían potencializando un mejor uso del fósforo, sino también del nitrógeno.

### Resultados nutricionales

La *T. diversifolia* es una especie con múltiples cualidades que permiten clasificarla como planta forrajera de alto potencial para la producción animal, entre las que se puede mencionar su fácil establecimiento, rusticidad, resistencia al corte y al ramoneo (Gallego et al., 2014). El botón de oro ha sido reconocido entre los productores e investigadores como una planta promisoriosa, cuyo forraje presenta un importante valor nutricional, por lo que puede ser utilizada en la alimentación de rumiantes (Cuadro 1); además, posee características que la hacen similar a

**Cuadro 1.** Recopilación de valores promedios, mínimos y máximos de la composición química de la *T. diversifolia* reportados por diferentes autores cuyas investigaciones provienen de distintos orígenes geográficos. Colombia. 2015.

**Table 1.** Collection of averages, minimum and maximum values of the chemical composition of *T. diversifolia* reported by different authors whose research come from different geographical origins. Colombia. 2015.

	%	Min*	Max*	Autor
MS	22,3	1,5	29,5	Ferreira, 2015
PC	24,13	11,7	27,5	Verdecia et al., 2011
CNE	9,65-18,41	***	***	Medina et al., 2009; Puerto, 2012
EE	3,25	1,9	5,2	Wambui et al., 2006
FDN	44,7	33,3	55,9	Maurício et al., 2014
FDA	36,4	24,1	47,6	Ferreira, 2015
LDA	9,2	6,6	17,9	Heuzé et al., 2015
Cen	14,68	9,7	14,1	Ekeocha y Fakolade, 2012
TC	1,04-1,42	***	***	Verdecia et al., 2011

\* Heuzé et al., 2015; Min: mínimo; Max: máximo; MS: materia seca; PC: proteína cruda; CNE: carbohidratos no estructurales; EE: extracto etéreo; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; LDA: lignina detergente ácido; Cen: cenizas; TC: taninos condensados / Min: minimum; Max: maximum; MS: dry matter; PC: crude protein; CNE: nonstructural carbohydrates; EE: ether extract; NDF: neutral detergent fiber; FDA: acid detergent fiber; LDA: acid detergent lignin; Cen: ash; TC: condensed tannins.

otras plantas arbustivas destinadas a la producción en el trópico alto colombiano.

Los SSP con presencia de arbustos como el botón de oro, permiten realizar un ramoneo por los animales, el cual presenta un efecto directo sobre el bienestar y la productividad de estos, ofreciéndole a los animales la oportunidad de satisfacer sus requerimientos nutricionales, por la oportunidad de seleccionar rebrotes, hojas y tallos frescos que presentan un mayor contenido nutricional, realizando altos aportes de proteína y carbohidratos solubles (Quevedo, 2014). Así mismo, el ramoneo de arbustivas como el botón de oro, ayuda como suplemento cuando la calidad del forraje declina, aportando una considerable cantidad de nutrientes en la dieta de rumiantes (Maurício et al., 2014). Sin embargo, son escasos los estudios reportados con esta especie en ramoneo, en donde se ponga de manifiesto las bondades y dificultades que trae esta actividad sobre la producción bovina, las investigaciones sobre esta especie se enfocan más en sistemas de corte y acarreo.

La producción de biomasa puede variar entre 30 a 70 t/ha de forraje verde, dependiendo de la densidad de siembra, tipo de suelo y estado vegetativo (Mahecha y Rosales, 2006); encontrado una producción de forraje verde entre 21,2 a 31,4 t/ha, a una densidad de siembra de 1 m entre surcos y 0,75 m entre plantas, respectivamente (Ríos y Salazar, 1995). Diferentes estudios muestran la rápida recuperación de las plantas en cortes sucesivos, e indican que el momento más adecuado para cosechar el forraje sin causarle deterioro al cultivo es el estado de prefloración, en el cual es factible obtener una producción de biomasa verde de 31,5 t/ha, en cortes cada cincuenta días. Sin embargo, en sistemas con ramoneo, la recuperación de la planta requiere periodos de descanso más prolongados sesenta a noventa días según el clima (Ochoa, 2011).

La calidad del forraje de botón de oro puede presentar variaciones en función al estado fenológico de la planta, condiciones del suelo donde se cultive y otros factores ambientales.

Los valores máximos de proteína se han registrado en las etapas de crecimiento avanzado (treinta días de rebrote) y prefloración (cincuenta días), 28,51% y 27,48%, respectivamente (Calle y Murgueitio, 2010); sin embargo, Lezcano et al. (2012) encontraron un contenido de proteína bruta en esta forrajera a los treinta días de 20,10%, y a los sesenta días de 19,03%.

El follaje de botón de oro es rico en nitrógeno total, buena parte del cual está presente en aminoácidos esenciales (Calle y Murgueitio, 2010). En el Cuadro 2 se presenta el contenido de aminoácidos de la *T. diversifolia*, en comparación al perfil de aminoácidos presente en diferentes especies forrajeras utilizadas en la alimentación de rumiantes, como lo son la morera (*Morus alba*), alfalfa (*Medicago sativa*), kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) y de la harina de soya, esta última utilizada en los alimentos concentrados como fuente proteica. Se hace importante resaltar el contenido de aminoácidos esenciales que contiene el botón de oro, entre ellos la metionina y la lisina, los cuales, en rumiantes, son generalmente los principales aminoácidos limitantes para la producción (Arriola et al., 2014). Cuando se incrementa la suplementación de aminoácidos esenciales como isoleucina, leucina, metionina y treonina, una pequeña porción de estos aminoácidos que es absorbida llega a la glándula mamaria para ser utilizados en la síntesis de proteínas, mientras que una proporción mayor de los aminoácidos retorna a la circulación general, donde pueden ser catabolizados (Arriola et al., 2014).

En lo referente al contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) del botón de oro, existen reportes entre 9,65-18,41% (Medina et al., 2009; Puerto, 2012), aunque se han alcanzado contenidos hasta de un 33% de CNE en la época de prefloración (Ferreira, 2015), contenido superior al aportado por el pasto kikuyo (*C. clandestinus*), en donde Andrade (2006) reportó un contenido de CNE alrededor del 9%. Lo anterior indica una posible ventaja de la utilización de la *T. diversifolia* en rumiantes, ya que con la cantidad de carbohidratos no estructurales presentes en esta arbustiva, se espera un aprovechamiento más eficiente de la proteína degradable en rumen (Villalobos y Sánchez, 2010). En sistemas de producción ganadera que presentan altos contenidos de proteína soluble, se hace necesario buscar estrategias forrajeras que realicen un aporte energético, permitiendo de esta manera un mejor balance ruminal y una mayor síntesis de proteína microbiana (Zhu et al., 1999). De no existir este balance ruminal, una forma de excreción de la proteína soluble y degradable del forraje que no ha sido degradada se hace por la orina, en forma de urea, lo que acarrea una mayor pérdida energética por parte del animal (Zhu et al., 1999).

Con respecto al contenido fibroso del botón de oro, se han encontrado reportes del contenido de FDN

**Cuadro 2.** Contenido de aminoácidos de diferentes especies forrajeras y materia prima utilizados en la alimentación de rumiantes, expresados como porcentaje de proteína cruda. Colombia. 2015.

**Table 2.** Amino acid content of different forage species and raw materials used in feed for ruminants, expressed as a percentage of crude protein. Colombia. 2015.

Aminoácido	<i>T. diversifolia</i> <sup>a</sup>	<i>M. sativa</i> <sup>b</sup>	<i>M. alba</i> <sup>c</sup>	<i>C. clandestinus</i> <sup>d</sup>	Harina de soya <sup>e</sup>
	20% PC	18,2% PC	19% PC	17,8% PC	47% PC
Alanina	6,1	4,6	6,3	1,26	***
Arginina	6,2	4,5	6,3	0,83	7,3
Ácido aspártico	13,3	10,0	11,1	2,44	***
Cistina	1,0	1,2	1,3	0,2	1,52
Ácido glutámico	12,2	7,8	11,7	1,84	***
Glicina	5,1	4,3	5,9	0,78	***
Histidina	2,3	2,1	2,6	0,39	2,6
Isoleucina	4,3	3,6	5,2	0,75	5,4
Leucina	7,6	6,3	9,5	1,27	8,0
Lisina	5,4	4,3	6,5	0,9	6,13
Metionina	1,6	1,3	1,6	0,31	1,43
Fenilalanina	5,5	4,2	6,0	0,95	5,2
Prolina	3,9	7,1	5,1	0,99	***
Serina	5,1	4,3	4,8	0,83	***
Treonina	4,3	3,8	5,3	0,77	3,94
Tirosina	3,5	2,6	4,3	***	2,9
Valina	5,3	4,7	6,5	1,07	4,84

<sup>a</sup>Fasuyi e Ibitayom, 2011; <sup>b</sup>Heuzé et al., 2015; <sup>c</sup>Quirama y Caicedo, 2003; <sup>d</sup>Parra, 2000; <sup>e</sup>FEDNA, 2010

en la etapa de prefloración (sesenta días) entre 43,92 hasta 54,48% (Verdecia et al., 2011; Ferreira, 2015). En sistemas de producción bovina con animales en pastoreo, se busca estimular el consumo de materia seca proveniente del forraje, por lo que este no debe poseer altos contenidos de FDN, pues se tendrían limitaciones en el consumo por un efecto de llenado físico a nivel ruminal (Villalobos y Sánchez, 2010).

El contenido de lignina en la *T. diversifolia* en estado avanzado de maduración, puede alcanzar niveles de hasta 32,19% (Ferreira, 2015), lo que probablemente puede limitar la colonización de los microorganismos y disminuir la digestibilidad de la fibra (Heuzé et al., 2015), por lo que se recomienda el consumo de la *T. diversifolia* por parte de los animales antes de la prefloración, es decir, entre los cincuenta a sesenta días de rebrote, viéndose afectada esta etapa principalmente por el clima (Ferreira, 2015).

### Uso de la *T. diversifolia* en la producción bovina

Debido a las características propias de los pastos tropicales que poseen bajos niveles de proteína digestible y un alto contenido de fibra, el follaje de las especies arbustivas y/o arbóreas se ha considerado, en muchos casos, como una estrategia nutricional en la suplementación de los rumiantes en el trópico (Mahecha y Rosales, 2006; Lezcano et al., 2012). Autores han reconocido el potencial de la *T. diversifolia* para ser utilizada en la alimentación de diferentes especies animales, por su valor nutricional superior al de las gramíneas tropicales, mejorando la degradabilidad de la materia seca de la dieta en comparación a sistemas convencionales favoreciendo la productividad animal y la rentabilidad del sistema (Mahecha y Rosales, 2006; Lezcano et al., 2012).

En los últimos años se ha evidenciado un creciente uso de la *T. diversifolia* como fuente forrajera para

bovinos, resaltando de esta arbustiva su aceptabilidad por parte de los animales, los altos contenidos de proteína, y dentro de ella, la complementariedad con aminoácidos esenciales, bajo contenido de fibra y niveles aceptables de sustancias antinutricionales como fenoles y taninos (Calle y Murgueitio, 2010). Hay reportes de un bajo contenido de taninos totales en la *T. diversifolia* en comparación con otras especies forrajeras como la *Gliricidia sepium* (5,4 y 11,14 g/kg, respectivamente) (Santacoloma y Granados, 2015), sin embargo, existen reportes de taninos totales en el botón de oro incluso menores en períodos poco lluviosos, 2,17 g/kg (Verdecia et al., 2011).

En algunos estudios realizados con rumiantes (bovinos, ovinos, caprinos), se evidencia la aceptación del forraje de *T. diversifolia* por los animales, el cual puede ser incluido en el plan de alimentación, obteniendo buenos consumos de materia seca de esta arbustiva (Wambui et al., 2006; Mahecha et al., 2007; Ramírez et al., 2010). Sin embargo, se ha observado la necesidad de un período de adaptación de los animales al consumo de la *T. diversifolia*, encontrando una disminución en el consumo de la arbustiva los primeros cuatro días de suministro, el cual aumenta gradualmente en los siguientes días y es estabilizado a partir del octavo día (García et al., 2008).

Ante el deseo y la necesidad de mejorar la calidad de la leche, en cuanto al contenido de proteína y sólidos, se hace necesario explorar nuevas estrategias de alimentación que permitan incrementar la eficiencia en la fermentación (Gallego et al., 2014), ayudando a mejorar la actividad para la síntesis de proteína microbiana, buscando obtener un mayor paso de proteína al tracto digestivo posterior.

Existen estudios en donde no se han evidenciado cambios significativos en la calidad de la leche por efecto del consumo de arbustos forrajeros, es el caso de un estudio realizado por Mahecha et al. (2007), en el cual evaluaron la producción y calidad de la leche de vacas F1 (holstein x cebú), suplementadas con forraje de *T. diversifolia* como reemplazo parcial del alimento concentrado. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables producción y calidad de leche, reemplazando hasta un 35% del concentrado en la dieta por forraje de *T. diversifolia*, sin alterar la producción ni la calidad de la leche, existiendo por el contrario una tendencia a mejorar estos niveles. Al evaluar la calidad de la

leche bovina en términos de porcentaje de grasa y porcentaje de proteína, se encontraron diferencias significativas para los tres tratamientos evaluados, presentando un mayor contenido de grasa y proteína láctea en el tratamiento de monocultivo de botón de oro (3,87% y 3,22%), seguido por el asocio botón de oro y pasto estrella (3,74% y 3,15%) y por último, por el monocultivo de pasto estrella (3,64% y 3,13%) (Quevedo, 2014).

## ALGUNOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE PASTURAS Y ARBÓREAS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES

Los sistemas silvopastoriles (SSP) han sido presentados como una alternativa de producción sostenible, en donde no solo se puede evidenciar un incremento en la cantidad de forraje, sino también en la calidad de los nutrientes que son disponibles para los animales. Sin embargo, en un común denominador, en estos sistemas de producción no es cuantificada, ni la cantidad de forraje producida, ni el consumo de materia seca por los animales en pastoreo, siendo la pastura la principal fuente de nutrientes para los bovinos. La capacidad de carga animal en los SSP debe ajustarse igualmente, de acuerdo a la disponibilidad y calidad de las especies forrajeras presentes, teniendo como finalidad garantizar la sustentabilidad de los sistemas de producción.

La determinación del consumo voluntario de materia seca (CMS) por los animales, es indispensable para determinar su capacidad productiva y su estado nutricional. Existen muchas técnicas para la estimación del CMS, entre ellas se encuentran las técnicas basadas en la pastura o método agronómico, la técnica de los marcadores y la técnica basada en el comportamiento al pastoreo, las anteriores pueden ser adaptadas tanto para especies herbáceas como para especies arbustivas o arbóreas, por lo que, tienen una importante aplicación en los SSP con diferentes estratos de pastoreo.

### Técnicas basadas en la pastura: método agronómico

Esta técnica toma en cuenta la diferencia que existe entre la biomasa de forraje estimada antes de

iniciar el período de pastoreo y al finalizar el mismo (Hammeleers, 2002). Existen una serie de metodologías que pueden utilizarse para la cuantificación del forraje, entre ellas, la técnica de aforo de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975), la cual consiste en estimar la disponibilidad del forraje, basándose en observaciones visuales y por corte. Esta metodología es más eficiente en el muestreo, y permite obtener una estimación rápida de la cantidad de biomasa presente y residual de la pradera; sin embargo, se deben tener en cuenta los efectos de compactación del suelo y la contaminación por heces, materia muerta y suelo (Hammeleers, 2002).

La metodología de doble muestreo es aplicada tradicionalmente para la gramínea, sin embargo, fue adaptada para algunas arbustivas como la *Leucaena leucocephala* y la *T. diversifolia* (Mahecha et al., 2000). Para determinar la producción de forraje y el consumo de *T. diversifolia* en SSP, se procede de manera similar al aforo de la gramínea, seleccionando cinco puntos de referencia y realizando evaluaciones visuales. Cuando el SSP se utiliza con ramoneo directo de *T. diversifolia*, de los cinco arbustos seleccionados se recolecta el forraje verde potencialmente comestible por los animales, como hojas y tallos tiernos, procediendo con el pesaje individual de todo el material recolectado por arbusto. Para las estimaciones visuales, en caso de ser un SSP de baja densidad, se toma como visual cada uno de los arbustos presentes en el área a aforar, en el caso de SSP intensivos, se pueden calificar los arbustos presentes cada 2 m lineales (Mahecha et al., 2000). Con la información obtenida, peso de estratos y visuales, se realizará un análisis de regresión lineal en donde “x” es el promedio de las calificaciones visuales.

En un estudio en el cual se realizó una comparación de tres técnicas de estimación del consumo de forraje por vacas holstein en pastoreo, las cuales pastoreaban praderas individuales, se encontraron consumos similares entre los métodos agronómico y N-alcanos, mientras que ambos métodos difirieron del método de comportamiento al pastoreo, lo que pudo estar influenciado por la alteración del comportamiento gregario de los bovinos al pastorear praderas individuales (Estrada et al., 2014). Basado en estos resultados se puede inferir que el método agronómico, aparte de ser una técnica práctica y económica, permite obtener estimaciones confiables del CMS. Es así como lo reporta Roca et al. (2016), quienes utilizaron el método agronómico para estimar el CMS

de animales pastoreando SSP, encontrando un mayor consumo en los animales que pastoreaban potreros con una mayor complejidad botánica, de cuatro a cinco especies forrajeras.

### Técnicas basadas en indicadores

Los indicadores se clasifican en internos, que son constituyentes naturales de los alimentos como la lignina, sílice, nitrógeno fecal, FDN y FDA indigestibles y N-alcanos; y externos que son compuestos inertes como el óxido de cromo, la rutenio fenantrolina, cromo mordante, para fase sólida, y cobalto-EDTA, cromo-EDTA para fase líquida (Rodríguez et al., 2007). Con este método se estima la producción de heces, por medio del indicador externo, y la digestibilidad del alimento, mediante el indicador interno.

Para estimar el CMS por el método de indicadores, se hace necesario estimar el volumen de heces y la digestibilidad del alimento, para lo cual se utiliza un indicador externo e interno, respectivamente.

El volumen de heces producidas por el animal puede estimarse directamente mediante la colecta total (Mitchell, 1977), e indirectamente con el uso de indicadores. Con respecto a la colecta total, como su nombre lo indica, consiste en recolectar todas las heces producidas utilizando bolsas colectoras sujetas al animal mediante un arnés (Lachman y Araujo, 2001). Este método requiere de mucho tiempo y cuidado, por lo que es una técnica costosa y en ocasiones poco práctica, además, esta técnica puede modificar el comportamiento del animal durante el pastoreo. Por lo anterior, fue desarrollada la técnica que usa indicadores con el propósito de reemplazar la colecta total, la cual es mucho más dispendiosa; además, que permite disminuir todas las limitaciones que pudiera tener la recolección de heces, principalmente en animales en pastoreo, buscando a su vez una mayor precisión en los resultados (Rodríguez et al., 2007).

**Óxido crómico ( $Cr_2O_3$ ):** el óxido de cromo es el indicador que más se utiliza en estudios de consumo, digestibilidad y producción fecal (Frota et al., 2006). Puede ser suministrado a través de cápsulas de gelatina, impregnado en papel degradable o en forma de pellets (Frota et al., 2006).

Para estimar el consumo de forraje mediante este indicador, se suministra una cantidad específica de dicho indicador a cada uno de los animales

experimentales, durante un tiempo determinado. Para esta metodología se ha evidenciado el uso desde 10 hasta 36 g de óxido de cromo diario por animal, durante períodos de doce a veintidós días (Frota et al., 2006; Mojica et al., 2009) (Cuadro 3).

Antes de que el indicador alcance el equilibrio en el flujo de heces, es necesario que transcurra un período de dosificación preliminar. La concentración estable de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en las heces, normalmente se alcanza entre seis y siete días después del suministro de la primera dosis (Chamberlain y Thomas, 1983).

Una vez transcurrido el período de acostumbramiento, se hace necesario recolectar muestras de heces, las cuales pueden ser obtenidas directamente del recto del animal, para posteriormente medir en ellas la concentración del indicador y estimar la producción de estas. Las concentraciones de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en heces, siguen un patrón cíclico a través del día, por

lo que, se sugiere tomar varias muestras durante ese periodo para evitar posibles errores (Chamberlain y Thomas, 1983), esto fue demostrado por Whittington et al. (1978) y Estrada et al. (2014), quienes obtuvieron un bajo coeficiente de variación para el porcentaje de recuperación del indicador externo, al recolectar muestras de heces mínimo dos veces al día. La variación en la concentración del Cr en las heces, depende más de la frecuencia de recolección que de la duración del periodo de muestreo (Correa et al., 2009).

La estimación de la producción de heces mediante indicadores externos, ajustada por la tasa de recuperación del indicador, valores que varían entre 79 y 90% (Phar et al., 1970; Correa et al., 2009), puede reemplazar la metodología de recolección total, la cual es más dispendiosa y genera un mayor nivel de estrés en los animales (Correa et al., 2009).

Al comparar la estimación del CMS por dos

**Cuadro 3.** Recopilación de ajustes metodológicos para la estimación del consumo de materia seca mediante la técnica de indicadores externo e interno, duración del período de acostumbramiento y medición, dosis de marcador externo y frecuencia de recolección de heces. Colombia. 2015.

**Table 3.** Compilation of methodological adjustments to estimate the dry matter intake by the technique of external and internal indicators, duration of the adaptation and measurement periods, external marker dose, and feces collection frequency. Colombia. 2015.

Autor	Objetivo	P.A (días)	P.M (días)	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Recolección heces	% R Cr en las heces	Indicador Interno	CMS
Correa et al., 2009	Estimar el CMS de vacas holstein lactantes bajo pastoreo (animales en el 1, 2 y 3 tercio lactancia).	13	2	15 g/vaca/día	Cada seis horas y recolección total	79,40%	FDAi	FDAiiv: 11kg/v/d (1,82% PV) FDAiis: 13,6kg/v/d (2,25% PV)
Mojica, et al., 2009	Efecto de la oferta de pasto kikuyo sobre la producción y calidad composicional de la leche (3 niveles oferta: 2,6, 3,3, 4,0 kg MS/100 kg PV) (animales en primer tercio lactancia).	14	7	6g de $\text{Cr}_2\text{O}_3$ /kg concentrado	Una vez/día, en el ordeño de la mañana	Asumieron un 100%	FDAi	T1: 14,5 kg/v/d (2,6% PV) T2: 15,8 kg/v/d (2,8% PV) T3: 17,4 kg/v/d (2,8% PV)
Frota et al., 2006	Evaluar las metodologías de óxido de cromo <i>in vitro</i> y N-alcanos en la estimación del CMS de vacas holstein x cebú (animales en primer tercio lactancia).	5	9	10 g/animal/día	Dos veces/día	***	n-alcanos (C31:C32 y C33:C32)	11,62kg/v/d (2,45% PV)
Whittington et al., 1978	Determinar la fluctuación diaria del óxido de cromo y el tiempo óptimo para obtener las muestras de heces (novillos estabulados).	10	3	10-13 g/227 g de suplemento	7:00; 12:00; 17:00	94,05%	L, FC, N	***

P.A: período de acostumbramiento; P.M: período de medición; %R Cr: % de recuperación del cromo; CMS: consumo de materia seca; PV: peso vivo; FDAi: fibra indigerible en detergente ácido; L: lignina; FC: fibra cruda / P.A: adaptación period; P.M: measurement period; % RCR: % recovery of chromium; CMS: dry matter intake; PV: live weight; ADFi: indigestible acid detergent fiber; L:lignin; CF: crude fiber.

métodos de indicadores, óxido de cromo y N-alcanos, se encontró que el consumo obtenido mediante la técnica del óxido de cromo, fue más próximo al propuesto por la NRC (2001), encontrando un consumo aproximado del 2,45% del peso vivo, a su vez, estos resultados fueron los más precisos al obtener un menor coeficiente de variación (14%) y un menor error estándar (Frota et al., 2006).

**Lignina:** una vez se ha estimado la cantidad total de heces producida diariamente, se debe determinar la porción no digerible del forraje consumido, cuya estimación se realiza en forma indirecta conociendo la digestibilidad de la dieta seleccionada por el animal en pastoreo. Una fracción indigestible de la dieta, como la lignina, puede ser usada para determinar la digestibilidad de los forrajes (Momont et al., 2010). La lignina está presente en la pared celular vegetal, y es formada por tres polímeros condensados resistente a la hidrólisis ácida y alcalina, y a varios complejos enzimáticos, inclusive a enzimas microbianas y del tracto gastrointestinal de animales superiores (Momont et al., 2010). Esta ha sido utilizada como indicador interno, pues parece no ser degradada por los animales, aparte de presentar una recuperación cuantificable en las heces (Rodríguez et al., 2007).

Aunque por mucho tiempo la lignina ha sido considerada como indigestible y recuperable en las heces, recientes estudios indican la posible degradación de la lignina en el tracto gastrointestinal de los rumiantes, por lo que, no podría ser un adecuado indicador interno (Kanani et al., 2014). En gramíneas jóvenes y especies vegetales con bajas concentraciones de lignina, su menor grado de polimerización puede ocasionar cierto grado de digestibilidad (del orden de 20 a 40%), por lo que, se recomienda el uso de la lignina como indicador en raciones con concentración superior a 5% en la materia seca (Van Soest, 1994), lo que concuerda con Lachman et al. (2003), quienes encontraron un mínimo coeficiente de digestión de 0,94, al utilizar dietas que superaban esta concentración de lignina en la dieta.

Con ayuda de las fórmulas presentadas en la Cuadro 4, y teniendo en cuenta a su vez la metodología descrita anteriormente, es posible calcular la producción de heces, la digestibilidad del alimento y de esta forma, el consumo de forraje.

## Técnicas basadas en el comportamiento animal

El método de comportamiento al pastoreo es una herramienta útil para cuando se desea estimar el consumo de forraje en SSP con ramoneo de especies arbustivas o arbóreas, pudiendo evaluar condiciones específicas de los animales como la selectividad, aspecto muy importante a considerar en estos sistemas de producción, en donde se diversifica la cantidad de especies forrajeras ofertadas, teniendo los animales una mayor opción de seleccionar especies más succulentas y con mayor contenido de nutrientes.

Esta metodología consiste en la observación de los principales componentes del comportamiento ingestivo, como lo son tiempo de pastoreo, rumia, bebida de agua, tasa y masa del bocado, siendo el peso del bocado el primer componente en ser afectado cuando los bovinos sufren alteraciones en la oferta de alimento (Hammeleers, 2002). Al realizar la estimación del consumo voluntario de forraje, mediante los parámetros de comportamiento animal, es importante considerar el consumo diario de forraje como el producto de tres variables: peso del bocado, tasa de bocado durante el pastoreo y tiempo diario de pastoreo (Galli et al., 1996).

**Tiempo de pastoreo:** es el tiempo empleado por los animales para la selección y captura del forraje, incluyendo el corto período de tiempo que estos utilizan para desplazarse en busca del alimento (Santana et al., 2013). Aproximadamente el 85% del tiempo de pastoreo ocurre durante el día, y solamente un 15% durante la noche (Balocchi et al., 2002); sin embargo, esto puede verse modificado de acuerdo con las condiciones climáticas, pues en días muy calurosos, los animales compensan el tiempo de pastoreo en horas de la noche, mientras que en el día los animales buscan sombra y tienen períodos más prolongados de rumia y descanso. En vacas lecheras el tiempo de pastoreo diario oscila entre 500 y 600 minutos aproximadamente (Balocchi et al., 2002).

**Tasa de bocado:** se define un bocado como la aprehensión y el corte del forraje por medio de los labios, lengua o dientes. El factor que más influyen sobre el número de bocados por día es el tiempo que tarda el animal en buscar un bocado, lo que es directamente dependiente de la distribución del forraje y el tiempo

**Cuadro 4.** Estimación de la producción de heces, tasa de recuperación del indicador externo, digestibilidad del alimento y estimación del consumo de materia seca mediante la técnica de indicadores (óxido de cromo y lignina). Colombia. 2015.

**Table 4.** Estimate fecal output, external recovery rate indicator, feed digestibility and estimation of the dry matter intake through technical indicators (chromium oxide and lignin). Colombia. 2015.

<b>Producción heces</b>	$\frac{Cr \text{ suministrado} - \frac{g}{\text{día}}}{g \text{ Cr en heces}} \times TR$	<b>TR: Tasa de recuperación</b>	(Mejía, 2002)
<b>Tasa recuperación</b>	$\frac{CTH \times MH \times 100}{D}$	CTH (g): colecta total heces MH (g): indicador externo en heces D (g/día): indicador externo suministrado en la dieta	(Batista et al., 2011)
<b>Digestibilidad (g/kg)</b>	$1000 \times \left(1 - \frac{Mfd}{Mfc}\right)$	Mfd (g/kg): indicador interno consumido Mfc (g/kg): indicador interno en heces	(Kanani et al., 2014)
<b>Consumo materia seca de forraje (g/día)</b>	$\frac{LF \times 100}{\%LigF}$	LF (g): lignina en forraje, LF: LH- LC, LH (g): lignina en heces, LH: %LigH x PH %LigH: % de lignina en heces, PH: producción de heces, LC (g): lignina en concentrado, LC: %LigC x consumo concentrado (g)	(Prieto, 2016)

que le lleva masticarlo. El tiempo de manipulación del bocado depende de características del forraje (Galli et al., 1996), por lo que pasturas muy fibrosas le tomarán más tiempo al animal en manipularla, disminuyendo el número de bocados por día.

La relación inversa entre la tasa de bocado y el peso del bocado, es otro aspecto de análisis en el comportamiento alimenticio, indica que a medida que aumenta el tamaño del bocado el animal gasta más tiempo en manipularlo, por lo que, la tasa de bocado se ve igualmente disminuida (Galli et al., 1996). Lo anterior se confirmó en una investigación en la que se reportó que la tasa de bocados pasó de 37 mordidas/min a 20 mordidas/min, cuando la disponibilidad de materia seca aumentó de 15 kg a 20 kg MS/vaca/día (Estrada et al., 2014).

Es importante que la persona encargada de realizar la evaluación del comportamiento animal, tenga cierta destreza visual, ya que el movimiento de la mandíbula puede ser en ocasiones complicado de visualizar en animales en pastoreo, y puede no resultar en una tasa real de mordidas, debido a que algunos de

los movimientos mandibulares están asociados con la manipulación de la cobertura vegetal y otros con el acto de deglución (Hammeleers, 2002).

**Peso de bocado:** esta es la variable con mayor relevancia, dado que puede explicar hasta el 30% de la variación en el consumo de forraje, mientras que la tasa de bocado y el tiempo de pastoreo presentan un coeficiente de variación del 12 y 7%, respectivamente (Galli et al., 1996; Hammeleers, 2002). Se ha relacionado el peso del bocado con la altura del pasto, con el largo de la lámina, con la densidad de forraje en el horizonte de pastoreo, con la composición botánica y con el estado fenológico de las pasturas (Galli et al., 1996). El método de “hand-plucking” es una técnica que permite estimar la masa forrajera de un bocado (Halls, 1954), la cual consiste en simular un bocado de manera manual, colectando los tejidos vegetales que son consumidos al tiempo por el animal. Esta técnica tiene como ventaja la mínima perturbación que se le puede causar al animal, y permite estimar la masa del bocado de manera individual en un periodo determinado. Existen diversos reportes que ponen en

manifiesto la variación que puede tener esta técnica para estimar la cantidad de forraje consumido en cada bocado, algunos autores reportan consumos promedios por bocado entre 0,25 a 0,45 g MS (Bonnet et al., 2015), mientras que otros reportan consumos entre 0,6 y 0,7 g MS (Balocchi et al., 2002).

Otra técnica que permite determinar el peso del bocado es mediante un animal canalado en el esófago para poder establecer la cantidad de forraje que es consumido por el animal durante un período determinado (Castillo, 2010). Sin embargo, este método es muy laborioso y no se ha encontrado un amplio uso para la medición rutinaria de los animales en pastoreo. La técnica de “hand-plucking”, aunque es una forma práctica de estimar el peso del bocado, es una metodología que debe ser manejada con precaución, debido a la posible subestimación del tamaño del bocado, como lo reportó Castillo (2010) al obtener el peso de bocado por “hand-plucking” de 0,42 g, mientras que por animales canalados obtuvo un peso de 0,85 g.

Pese a la alta variación que pueda existir en la estimación del CMS por el método de comportamiento al pastoreo, hay investigaciones en las que no se reportan diferencias en el consumo obtenido por este método y por el método de indicadores de N-alcanos, lo que puede indicar que la evaluación etológica puede ser un buen método para estimar el consumo de forraje de bovinos en pastoreo (Estrada et al., 2014).

En el Cuadro 5 se presentan algunas ventajas, aspectos críticos y que deben tenerse en cuenta con respecto a los tres métodos discutidos.

La *T. diversifolia* es considerada una especie promisoriosa, la cual, al ser introducida en los sistemas ganaderos, podría mejorar el estatus nutricional de los animales, debido a su contenido nutrientes.

Es así, como a pesar de las investigaciones que resaltan el uso de *T. diversifolia*, botón de oro, en la alimentación bovina, se hace necesario cuantificar el consumo en ramoneo de esta arbustiva por parte de los rumiantes en pastoreo, determinar la cantidad de nutrientes consumidos desde esta arbustiva y conocer

**Cuadro 5.** Ventajas y aspectos críticos a tener en cuenta sobre los métodos de estimación del consumo de forraje de bovinos en pastoreo, método agronómico, indicadores y comportamiento al pastoreo. Colombia, 2015.

**Table 5.** Advantages and critical aspects to consider about the methods for estimating forage intake of grazing cattle, agronomic indicators and grazing behavior methods. Colombia, 2015.

	Método agronómico	Indicadores (óxido de cromo y lignina)	Comportamiento al pastoreo
<b>Ventajas</b>	Bajo costo. Resultados en corto tiempo. Conocimiento de la eficiencia de pastoreo.	Bajo costo. Se incorpora fácilmente en la dieta. Simplicidad de los procedimientos analíticos. Estimación del consumo de manera individual.	Técnica de bajo costo. Resultados obtenidos en corto tiempo. Considera las condiciones ambientales. Técnica no invasiva. Estimación del consumo de manera individual.
<b>Aspectos críticos</b>	No considera la selectividad animal. Contaminación con partículas de suelo, raíces y material muerto.	Recuperación incompleta del indicador en heces. Variación en la tasa de pasaje del marcador por el rumen.	Los resultados obtenidos presentan un CV hasta de un 50% lo que indica la baja precisión de la técnica.
<b>Aspectos a tener en cuenta</b>	Altura de corte antes y después del pastoreo. Cortos períodos de pastoreo. Mediante este método no se obtiene información de CMS de manera individual, a menos que se introduzcan los animales en praderas individuales.	El grado de confiabilidad depende de la cantidad de indicador recuperado en heces. Para disminuir los errores por las variaciones diurnas en la excreción del cromo, es recomendable suministrar dos veces diarias dicho indicador.	Importante adaptar los animales al observador con el fin de que estos no alteren su comportamiento durante el pastoreo.

CV: coeficiente de variación; CMS: consumo de materia seca / CV: coefficient of variation; DMI: dry matter intake.

los posibles efectos de su inclusión sobre la actividad ruminal, la producción, la calidad de la leche y el comportamiento de los animales en pastoreo. Con respecto a los métodos para estimar el consumo de forraje en bovinos en pastoreo, el más indicado a nivel investigativo es el de indicadores, dado que permite disminuir las fuentes de error y obtener una mayor precisión en los datos; sin embargo, se ha evidenciado que el método agronómico es apropiado para implementar a nivel práctico, obteniendo similares consumos al arrojado por el de indicadores.

Se requiere un mayor soporte científico, en donde se evidencien los impactos que genera la inclusión de la *T. diversifolia* sobre los sistemas de producción ganaderos, tanto a nivel productivo, ya sea cantidad y calidad de leche producida, como a nivel económico, y encontrar la técnica que permita obtener una estimación más precisa del consumo de forraje en sistemas silvopastoriles.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Proyecto “Fortalecimiento de la cadena productiva de leche del Distrito del Norte Antioqueño”, convenio especial de asociación para la investigación No. 2013AS180031 celebrado entre el Departamento de Antioquia, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, La Universidad de Antioquia y la Universidad Nacional de Colombia, y a Colciencias por el apoyo económico brindado para la ejecución de este trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Rev. Cub. Cienc. Agríc.* 45:107-115.
- Andrade, M. 2006. Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica. Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, San José, CRC.
- Arriola, S.I., L.M. Singer, W.K. Ray, R.F. Helm, X.Y. Lin, M.L. McGilliard, N.R. St-Pierre, and M.D. Hanigan. 2014. Casein synthesis is independently and additively related to individual essential amino acid supply. *J. Dairy Sci.* 97:2998-3005.
- Balocchi, O., R. Pulido, y J. Fernández. 2002. Comportamiento de vacas lecheras en pastoreo con y sin suplementación con concentrado. *Agric. Téc.* 62:87-98.
- Batista, C., E. Detmann, T.N. Pereira, M.A. De Souza, S.C. Valadares, and M. Fonseca. 2011. Evaluation of fecal recovering and long term bias of internal and external markers in a digestion assay with cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 40:174-182.
- Bonnet, O., M. Meuret, M. Tischler, I.M. Cezimbra, J. Azambuja, and P. Carvalho. 2015. Continuous bite monitoring: a method to assess the foraging dynamics of herbivores in natural grazing conditions. *Anim. Prod. Sci.* 55:339-349.
- Calle, Z., y E. Murgueitio. 2010. El botón de oro: arbusto de gran utilidad para sistemas ganaderos de tierra caliente y de montaña. *Carta Fedegán* 108:54-63.
- Castillo, E. 2010. Comportamiento ingestivo en ganado bovino de doble propósito. Universidad Nacional Autónoma de México, MEX.
- Correa, H., M. Pabón, y J. Carulla. 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Liv. Res. Rural Dev.* 21(4). <http://www.lrrd.org/lrrd21/4/corr21059.htm>
- Chamberlain, D.G., and P.C. Thomas. 1983. A note on the use of chromium sesquioxide as a marker in nutritional experiments with dairy cows. *Anim. Sci.* 36:155-157.
- Ekeocha, A.H., and P.O. Fakolade. 2012. Effect of graded levels of Mexican sunflower leaf (*Tithonia diversifolia* Hemsl. A. Gray) meal on the feed intake of ewe during the entire gestation period of 150 days. *Scientific J. Anim. Sci.* 1:107-118.
- Estrada, I., F. Avilés, J.G. Estrada, P.E. Pedraza, G. Yong, y O.A. Castelán. 2014. Estimación del consumo de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* K. Schum.) por vacas lecheras en pastoreo, mediante las técnicas de n-alcanos, diferencia en masa forrajera y comportamiento al pastoreo. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 17:463-477.
- Fasuyi, A.O., and F.J. Ibitayom. 2011. Preliminary analyses and amino acid profile of wild sunflower (*Tithonia diversifolia*) leaves. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5:164-170.
- FEDNA. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 3ª ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, ESP.
- Ferreira, L.H. 2015. Produtividade e valor nutricional da *Tithonia diversifolia* para ruminantes. Tesis MSc, Agron. Mesoam. 28(1):289-302. 2017 ISSN 2215-3608

- Universidade Federal de São João del-Rei. Minas Gerais, BRA.
- Frota, M.J., J.F. Coelho, L. Magalhães, F.C. Ferraz, A.C. Wyllie, e E. Detmann. 2006. Óxido de cromo e n-alcanos na estimativa do consumo de forragem de vacas em lactação em condições de pastejo. R. Bras. Zootec. 35:1535-1542.
- Gallego, L.A., L. Mahecha, y J. Angulo. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. Agron. Mesoam. 25: 393-403.
- Gallego, L.A., L. Mahecha, y J. Angulo. 2015. Crecimiento y desarrollo de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en condiciones de trópico alto. En: VIII Congreso Internacional Sistemas Agroforestales y III Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, 7-9 mayo. Iguazú, Misiones, ARG.
- Galli, J.R., C.A. Cangiano, y H.H. Fernández. 1996. Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. Rev. Arg. Prod. Anim. 16:119-142.
- García, D.E., M.G. Medina, T. Clavero, J. Humbría, A. Baldizán, y C. Domínguez. 2008. Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes Venezolanos. Rev. Cient. FCV LUZ 18:549-555.
- Halls, L.K. 1954. The approximation of cattle diet through herbage sampling. J. Range Manag. 7:269-270.
- Hammeleers, A. 2002. Métodos para estimar consumo voluntario de forrajes por rumiantes en pastoreo. <http://www.lpp.uk.com/media/default.asp?step=3&ycode=R6606&yssf=2> (consultado 14 set. 2015).
- Haydock, K.P., and N.H. Shaw. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 15:663-670.
- Heuzé, V., G. Tran, G. Reverdin, and F. Lebas. 2015. Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia*). Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <http://www.feedipedia.org/node/15645> (accessed 28 oct. 2015).
- Jama, B., C.A. Palm, R.J. Buresh, A. Niang, C. Cachengo, G. Nziguheba, and B. Amadalo. 2000. *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya: A review. Agroforest Syst. 49:201-221.
- Kanani, J., D. Philipp, K. Coffey, E.B. Kegley, C.P. West, S. Gadberry, J. Jennings, A.N. Young, and R.T. Rhein. 2014. Comparison of acid-detergent lignin, alkaline-peroxide lignin, and acid-detergent insoluble ash as internal markers for predicting fecal output and digestibility by cattle offered bermudagrass hays of varying nutrient composition. J. Anim. Sci. Biotechnol. 5:7. doi:10.1186/2049-1891-5-7
- Lachman, M., y O. Araujo. 2001. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. Universidad de Zulia, Maracaibo, VEN.
- Lachman, M., O. Araujo, y J. Vergara. 2003. Evaluación de la lignina detergente ácido como marcador para la determinación de la digestibilidad en ovinos. Rev. Científica FCV-LUZ 13:484-489.
- Lezcano, Y., M. Soca, F. Ojeda, E. Roque, D. Fontes, I.L. Montejó, H. Santana, J. Martínez, y N. Cubillas. 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. Rev. Pastos Forrajes 35:275-282.
- Mahecha, L., C.V. Durán, y M. Rosales. 2000. Análisis de la relación planta-animal desde el punto de vista nutricional en un sistema silvopastoril de *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. Acta Agron. 50:59-70.
- Mahecha, L., J.P. Escobar, J.F. Suárez, y L.F. Restrepo. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (holstein por cebú). Liv. Res. Rural Dev. 19(2). <http://www.lrrd.org/lrrd19/12/mahe19016.htm>
- Mahecha, L., y M. Rosales. 2006. Valor nutricional del Follaje de botón de oro [*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray], en la producción animal en el trópico. <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/valor-nutricional-follaje-boton-t1071/078-p0.htm> (consultado 5 jul. 2015).
- Maurício, R., R. Ribeiro, S. Silveira, P. Silva, L. Calsavara, L. Pereira, and D. Paciullo. 2014. *Tithonia diversifolia* for ruminant nutrition. Trop. Grasslands 2:82-84.
- Medina, M.G., D.E. García, M.E. González, L.J. Cova, y P. Moratino. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. Zootec. Trop. 27: 121-134.
- Mejía, J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. Acta Universitaria 12(3):56-63.
- Mitchell, A.R. 1977. An inexpensive metabolic harness for female sheep. British Vet. J. 133:483-485.
- Mohan, B., and P.K. Ramachandran. 2011. Carbon sequestration potential of agroforestry systems. Advances in Agroforestry 8. Opportunities and Challenges. Springer, Florida. USA.
- Mojica, J.E., E. Castro, J. León, E.A. Cárdenas, M.L. Pabón, y J. Carulla. 2009. Efecto de la oferta de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) sobre la producción y calidad

- composicional de la leche bovina. Liv. Res. Rural Dev. 21(1). <http://www.lrrd.org/lrrd21/1/moji21001.htm>
- Momont, P.A., R.J. Pruitt, and R.H. Pritchard. 2010. Evaluation of controlled release chromic oxide boluses and alkaline peroxide lignin as marker methods to determine forage intake of grazing ruminants. Department Anim. Range Sci. 89(11):37-39.
- Murgueitio, E. 2005. Silvopastoral systems in the neotropics. In: M.R. Mosquera et al., editors, Silvopastoralism and sustainable land management. CABI Publishing, Wallingford, GBR. p. 24-29.
- NRC (Nutrition Research Council). 2001. Nutrients requirements of dairy cattle. 7<sup>th</sup> ed. National Academy Press, WA, USA.
- Ochoa, E. 2011. Implementación de un banco mixto de forraje proteico en un sistema de producción de ganadería Brahman puro. Tesis de grado de Industrial Pecuario, Corporación Universitaria La Sallista, COL.
- Parra, J.E. 2000. Evaluación de la proteína del pasto kikuyo a diferentes edades de crecimiento. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, COL.
- Phar, P.A., N.W. Bradley, C.O. Little, and L.V. Cundiff. 1970. Effects of confinement and level of feed intake on digestibility of nutrients and excretion of chromic oxide, crude protein and gross energy in the bovine. J. Anim. Sci. 30:589-592. doi:10.2134/jas1970.304589x
- Prieto, E. 2016. Efecto de la suplementación con aceites vegetales a vacas pastoreando con/sin sistema silvopastoril intensivo con leucaena sobre los ácidos grasos en la leche y la producción de metano *in vitro*. Tesis Dr. Sc. An., Universidad de Antioquia. Medellín, Antioquia, COL.
- Puerto, L.S. 2012. Evaluación química de tres especies con potencial forrajero del trópico alto y medio. UNAD, COL.
- Quirama, A., y A. Caicedo. 2003. Determinación del valor nutricional del follaje de bore, *Xanthosoma* sp; nacedero *Trichanthera gigantea* y morera *Morus alba* en cerdos. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, COL.
- Quevedo, M. 2014. Efecto de un sistema silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, COL.
- Ramírez, U., J.R. Sanginés, J.G. Escobedo, F. Cen, J.A. Rivera, and P.E. Lara. 2010. Effect of diet inclusion of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. Agroforest. Syst. 80:295-302.
- Ríos, C.I., y A. Salazar. 1995. Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. Liv. Res. Rural Dev. 6(3), <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd6/3/9.htm>
- Roca, A.I., J.L. Peyraud, L. Delaby, and R. Delagarde. 2016. Pasture intake and milk production of dairy cows rotationally grazing on multi-species swards. The Anim. Consortium. doi: 10.1017/S1751731116000331
- Rodríguez, N., E. Oliveira, y R. Guimarães. 2007. Uso de indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida. Rev. Col. Cienc. Pecu. 20:518-525.
- Santacoloma, L.E., y J.E. Granados. 2015. Interrelación entre el contenido de metabolitos secundarios de las especies *Gliricidia sepium* y *Tithonia diversifolia* y algunas propiedades físicoquímicas del suelo. RIAA 3(1):53-62.
- Santana, H.A., R. Rodrigues, G.G. Pinto, F. Ferreira, G. Trindade, A. Andrade, E.S. Oliveira, G. Abreu, E.O. Cardoso, and F. Lima. 2013. Correlation between intake and ingestive behavior of pasture-grazed heifers. Semin. Cienc. Agrár. 34:2963-2976.
- Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. I.C.U. Press, NY, USA.
- Verdecia, D., J.L. Ramírez, I. Leonard, Y. Álvarez, Y. Bazán, R. Bodas, S. Andrés, J. Álvarez, F. Giráldez, y S. López. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Caucho. REDVET. 12(5):1-13.
- Villalobos, L., y J.M. Sánchez. 2010. Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. II .Valor nutricional. Agron. Costarricense 34(1):43-52.
- Wambui, C., A. Abdulrazak, and Q. Noordin. 2006. Performance of growing goats fed urea sprayed maize stover and supplemented with graded levels of *Tithonia diversifolia*. J. Anim. Sci. 19:992-996.
- Whittington, D.L., H.A. Turner, and R.J. Raleigh. 1978. Evaluation of chromic oxide, lignin, crude fiber, nitrogen and indigestible dry matter as indicators to determine fecal production and forage intake. Am. Soc. Anim. Sci. 29:1-6.
- Zhu, W.Y., K. Kingston, D. Troncoso, R.J. Merry, D.R. Davies, T.H. Pichard, and M.K. Theodorou, 1999. Evidence of a role for plant proteases in the degradation of herbage proteins in the rumen of grazing cattle. J. Dairy Sci. 82:2651-2658.