

InterSedes

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la
Universidad de Costa Rica



Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada

Roberto Cerdas - Ramírez

InterSedes, N° 39. Vol 19. Enero-Julio (2018). ISSN 2215-2458

URL: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes>

DOI

InterSedes Revista Electrónica de las Sedes Regionales, Universidad de Costa Rica, América Central.

Correo electrónico: intersedes@gmail.com

Dr. Edgar Solano Muñoz, Director. Teléfono: (506) 2511 0654. Correo electrónico: edgar.solano@ucr.ac.cr

Editor Técnico: Bach. David Chavarría. Correo-electrónico: chavariagd@gmail.com

Montaje de texto: Licda. Margarita Alfaro Bustos. Correo electrónico: margarita.alfarobustos@gmail.com

Imagen de carátula: M.Sc. Roberto Cerdas Ramírez. Correo electrónico rcerdasucr@hotmail.com

Consejo Editorial Revista InterSedes

Dr. Edgar Solano Muñoz. Director. Sede Guanacaste. Universidad de Costa Rica

M.L Mainor González Calvo. Sede Guanacaste. Universidad de Costa Rica

M.L Neldys Ramírez Vásquez. Sede Guanacaste. Universidad de Costa Rica

Dr. Pedro Rafael Valencia Quintana. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Facultad de Agrobiología. México.

M en C.A. Juana Sánchez Alarcón. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Facultad de Agrobiología. México.

Maria T. Redmon. Modern Languages & Literatures, Spanish. University of Central Florida.

Dr. Mario Alberto Nájera Espinoza. Universidad de Guadalajara. México.

Ing. Alex Roberto Cabrera Carpio, Mgr. Universidad Nacional de Loja-Ecuador.

Dr. Leonel Ruiz Miyares. Centro de Lingüística Aplicada (CLA). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Santiago de Cuba. Cuba.

Magíster Bibiana Luz Clara. Profesora e Investigadora de la Universidad FASTA, Mar del Plata. Argentina.

Carlos José Salgado. Profesor del área de mercadeo. Universidad de La Sabana. Colombia.

Daniel Hiernaux-Nicolas. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. México.

Rodolfo Solano Gómez. Instituto Politécnico Nacional - IPN-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, México.

José Miguel Guzmán Palomino. Universidad de Almería, España.

Dr. José Luis Gómez Olivares. Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México.



Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica, todos los derechos reservados. Intersedes por intersedes.ucr.ac.cr/ojs está bajo una licencia de [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/cr/).

Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada

Nutrients extraction and productive behavior of wild sunflower (*tithonia diversifolia*) with various levels of nitrogen fertilizer

Roberto Cerdas - Ramírez¹

Recibido: 27.11.17

Aprobado:09.05.18

DOI

Resumen

Se realizó un ensayo para evaluar la extracción de nutrientes y el comportamiento productivo del Botón de oro, en Santa Cruz, Guanacaste, localidad situada a 54 m de altitud, con una precipitación anual de 1834 mm. Se evaluó la producción de biomasa verde y seca, el contenido y la producción de proteína cruda por hectárea y la extracción de macronutrientes de la Tithonia sometida a cuatro dosis de nitrógeno por año, con cortes a los de 49 días: 100, 200, 300 y 400 kgN.ha⁻¹. El rendimiento de biomasa seca varió con las dosis de N aplicado, lo cual produjo 3483, 5482, 5917 y 6297 kgMS.ha⁻¹.corte⁻¹. La producción de proteína cruda por hectárea fue de 355, 692, 758 y 810 kgPC.ha⁻¹.corte⁻¹, con 100, 200, 300 y 400 kgN.ha⁻¹.año⁻¹. Todos los nutrientes se presentaron en cantidades adecuadas para la producción animal. Se recomienda aplicar 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ con cortes de 49 días.

Palabras clave: Botón de oro – *Tithonia* - fertilización nitrogenada - proteína por hectárea - extracción de nutrientes.

Abstract:

A study was conducted to evaluate nutrient extraction and productive performance of Wild Sunflower in Santa Cruz, Guanacaste, county located at 54 masl, with a 1834 mm annual rainfall. The production of green and dry biomass, content and production of raw protein per hectare and macronutrients extraction of Tithonia, subjected to four nitrogen dosages per year, with cuts of 49 days were evaluated: 100, 200, 300 and 400 kgN.ha⁻¹. The yield of dry biomass varied with the dosage of N applied: 3483, 5482, 5917 and 6297 kgDM.ha⁻¹.cut⁻¹. The production of crude protein was: 355, 692, 758 and 810 kgCP.ha⁻¹.cut⁻¹, with 100, 200, 300 and 400 kgN.ha⁻¹.year⁻¹. All nutrients are presented in suitable animal production quantities. It is recommendable to apply 200 kgN.ha⁻¹.year⁻¹ with cuts of 49 days.

Key words: *Wild sunflower* - *Tithonia*, nitrogen fertilization - protein per hectare - nutrients extraction.

¹ Docente e investigador de la Universidad de Costa Rica. Sede Guanacaste. rcerdasucr@hotmail.com

El forraje procedente de especies arbustivas puede ser una buena opción en la alimentación animal, debido a la gran cantidad de árboles y arbustos con potencial forrajero en las regiones tropicales, que presentan altos contenidos de proteína y un crecimiento rápido.

Las forrajeras arbustivas, además de la alimentación animal, se pueden utilizar como medicina, en la alimentación humana, cercas vivas y ornamentales. Estas forrajeras, contribuyen a la sostenibilidad de los suelos agrícolas al incrementar el reciclaje de nutrientes, controlar la erosión y mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo. Para que un árbol o arbusto pueda ser considerado como forrajero, debe ser bien consumido y mejorar la productividad de los animales; debe ser tolerante a la poda continua y producir una gran cantidad de biomasa área. En el uso de especies arbustivas para la alimentación animal, es importante tomar en cuenta el contenido de fenoles y los taninos, los cuales, al ser consumidos por los animales, pueden originar problemas de toxicidad potencial, baja palatabilidad y digestibilidad.

El Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) es una planta herbácea o arbustiva robusta de 1,5 a 4,0 metros de altura, tallo erecto, ramificado y glabro, hojas alternas, peciolada, de 7 a 20 centímetros de largo de bordes aserrados, inflorescencia en capítulos con pétalos amarillos. La inflorescencia está formada por pequeñas flores sésiles, dispuestas sobre un receptáculo convexo, provisto en su superficie de brácteas (páleas) rígidas, puntiagudas, de hasta 11 milímetros de largo (con algunos pelillos en la superficie) que abrazan las flores del disco. Se desarrolla bien en altitudes inferiores a los 2400 metros sobre el nivel del mar y precipitaciones anuales entre los 800 y 4000 mm, en suelos con un pH entre 5,0 y 7,5 de fertilidad baja a media. Tolerancia a suelos mal drenados. Puede producir hasta 40 toneladas de forraje verde por hectárea por corte, cada 8 semanas, con un contenido de proteína cruda de 14% a 28% y una digestibilidad de 72% (STDF, 2013).

La siembra de esta forrajera arbustiva se debe realizar con una distancia entre surcos de 1,0 m y 0,75 m entre las plantas. En la siembra por estacas, estas deben tener un tamaño aproximado a los 30 cm, cortadas de forma diagonal para facilitar la siembra, y se entierra tres partes de la estaca (Ríos, 1993).

El primer pastoreo del Botón de oro se debe realizar de seis a siete meses de establecido, con animales livianos para provocar el menor daño al cultivo. Los períodos de descanso de los pastoreos deben ser de 35 a 45 días, con períodos de ocupación de un día, dependiendo de las condiciones del clima, pues las sequías y los excesos de lluvia afectan la recuperación del banco proteico (Uribe y otros, 2011).

La *Tithonia* es una especie con buena capacidad de producción de biomasa y rápida recuperación después del corte, por lo que depende de la densidad de siembra, de los suelos y del estado

vegetativo. Al comparar tres densidades de siembra (2,66; 1,77 y 1,33 plantas por m²), Ríos y Salazar (1995) obtuvieron rendimientos de biomasa de 82, 57 y 46 ton. por ha.

Mahecha y Rosales (2005) indican que el follaje de *Tithonia diversifolia* se caracteriza por un alto contenido de nitrógeno total, una alta proporción de nitrógeno de naturaleza aminoacídica, un alto contenido de fósforo, una rápida degradabilidad y fermentación a nivel ruminal, una baja proporción de N ligado a la fibra dietética insoluble, un bajo contenido de fibra y compuestos del metabolismo secundario. Estos resultados, analizados de forma comparativa con los de especies forrajeras de amplio uso en la alimentación animal como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Erythrina*, así como los resultados de aceptabilidad y respuesta productiva obtenidos en ovinos, pollos de engorde y gallinas ponedoras, muestran la viabilidad de su uso tanto en monogástricos como en rumiantes.

La planta *T. diversifolia* es una especie que muestra gran plasticidad ecológica, capaz de adaptarse a las más diversas condiciones. Su rusticidad, valor nutricional y composición bromatológica, la poca exigencia a las labores fitotécnicas y los elevados rendimientos de biomasa, la cual puede ser consumida por diversas categorías de animales, la hacen prácticamente un recurso fitogenético excepcional. A esto también contribuye que puede ser empleada como fuente proteica en pastoreo o como forraje para los rumiantes y los mono-gástricos, y suministrarse presecada o molida en forma de harina o pienso; además, es posible almacenarla por períodos relativamente largos (Perez y otros, 2009).

La forrajera Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) contiene una cumarina, posiblemente colinina y fenoles pero en niveles bajos, que no representan problemas para bovinos y conejos, cuando se ha suministrado durante varios días en la dieta (STDF, 2013).

El rendimiento de forraje es el factor que controla la extracción y el consumo de nutrientes, y la práctica de fertilización adquiere mayor significado en aquellas especies con alto potencial genético de producción. Para identificar la dosis apropiada de fertilizante, se debe tomar en cuenta el nivel esperado de producción de forraje, las condiciones del suelo, el ambiente, la tecnología aplicada y el potencial genético de productividad de la especie (Bernal y Espinosa, 2003).

Entre los beneficios de fertilizar forrajes, se puede observar un incremento en el contenido de nitrógeno (proteína), digestibilidad, altura de la planta, densidad, relación hoja-tallo y mayor producción de biomasa. Además, se obtiene un ligero incremento en el consumo de forraje y la producción de carne y leche, por lo que sí se fertiliza y no se aumenta la carga animal para aprovechar la biomasa producida, los beneficios económicos de esta práctica en la producción de carne o leche son pocos (Cerdas, 2011).

El presente estudio se realizó para determinar la respuesta en productividad y las necesidades de nutrientes de la forrajera arbustiva Botón de oro, a dosis crecientes de nitrógeno, en Guanacaste.

Materiales y métodos

Ubicación y caracterización del área experimental

Esta prueba de fertilización se sembró a una altitud de 54 msnm, en la Finca de Santa Cruz de la Universidad de Costa Rica, lugar que posee una precipitación promedio de 1834 mm.año⁻¹, temperatura media anual de 27,9°C, con evaporación media diaria de 6,8 mm. y radiación solar global diaria de 18,7 MJ. La Finca muestra valores de lluvia mínimos de diciembre a abril y dos períodos lluviosos: de mayo a junio y de agosto a noviembre. El suelo en la Finca Experimental de Santa Cruz se clasifica como Vertic Rhodustalf, orden Alfisol, subgrupo Vertic de textura arcillosa (Chavarría, 1990) y la composición se presenta en el Cuadro 1, producto del muestreo que se realizó en junio de 2015 (CIA, 2015).

Cuadro 1
Condiciones edáficas del ensayo en Santa Cruz, Guanacaste 2015 (CIA, 2015)

<i>H₂O</i>	%		<i>cmol(+).L⁻¹</i>				<i>mg.L⁻¹</i>					
<i>pH</i>	<i>MO</i>	<i>N</i>	<i>AcEx</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>
6,1	2,55	0,16	0,12	20,86	7,82	0,51	5	2,3	17	27	18	5

Establecimiento del pasto

Para establecer el Botón de oro, primero se confeccionó una cama (almácigo) de 2,0 por 6,0 mt. y 30 cm de altura, para colocar 1500 estacas de 30 cm de longitud, donde se desarrollaron durante un período de 8 a 10 semanas y luego se trasplantaron a las parcelas del ensayo. Se dejó una reserva de plántulas en el almácigo para sustituir a las plantas que murieron en el proceso de trasplante. Las plantas se sembraron en 16 parcelas de 6 mt. por 10 mt., cada parcela con 72 plantas separadas 1,0 mt. entre surcos y 0,75 mt. entre plantas.

Se fertilizaron las parcelas de acuerdo con las necesidades de *Tithonia* y con el análisis de suelo, durante el establecimiento del forraje, con 154 N; 107 P₂O₅; 36 K₂O y 16 SO₄ kg.ha⁻¹, divididas en dos aplicaciones, con un intervalo de 15 días entre ellas. Sólo el nitrógeno se dividió en tres aplicaciones. Para el cálculo de fertilizante, se realizó un análisis del suelo (Cuadro 1).

A los 45 días, luego de la siembra, se aplicó 1,0 litro por hectárea de fertilizante foliar completo (N: 110, P₂O₅: 80, K₂O: 60, S: 1500, B: 400, Co: 20, Zn: 800, Cu: 400, Mo: 50, Ca: 250, Mn: 400, Fe: 500 y Mg: 250 mg.L⁻¹) y 0,6 litros por hectárea de magnesio foliar (3,5% MgO).

Manejo del experimento

Seis meses después de la siembra y del control de malezas, plagas y enfermedades, se realizó el corte de uniformidad del ensayo a 50 cm del suelo y se aplicaron a las parcelas el nitrógeno, de acuerdo con tratamiento, fósforo y potasio, según el análisis de suelo y las necesidades de *Tithonia*.

La fertilización se realizó a los 7 días del corte para los cuatro niveles de nitrógeno evaluados: 100, 200, 300 y 400 kg de nitrógeno por hectárea por año. Las dosis de nitrógeno por corte se dividieron en dos, con 15 días entre ellas, para evitar algún síntoma de toxicidad. Además del tratamiento con nitrógeno, se realizó una aplicación adicional de 107 kg de P₂O₅ y 72 kg de K₂O por hectárea por año, distribuidos en las tres aplicaciones, en los tres cortes anuales, con el propósito de corregir las deficiencias del suelo y satisfacer las necesidades de nutrientes de la forrajera evaluada. El nitrógeno se aplicó como nitrato de amonio, el fósforo y potasio como 10-30-10.

La primera cosecha del ensayo se realizó a los 49 días de edad, a 50 cm de altura.

Tratamientos evaluados, diseño y análisis

En este ensayo se evaluó la respuesta del Botón de oro a cuatro dosis de fertilizante nitrogenado (100, 200, 300 y 400 kg de nitrógeno por hectárea por año), correspondientes a 33,3 kg, 66,7 kg, 100 kg y 133,3 kg N por corte de 49 días. Se sembraron cuatro repeticiones por tratamiento, de 60 metros cuadrados, rodeadas de callejones de 3,0 metros de ancho.

Las muestras de follaje se secaron en una estufa para forrajes a 60 °C durante 72 horas (Herrera, 2007).

El ensayo se planteó en el campo como un diseño irrestricto al azar, para evaluar los cuatro niveles de fertilización nitrogenada.

Los datos de las variables evaluadas, a saber: producción de biomasa verde, producción de biomasa seca, contenido de materia seca, altura de la planta, contenido de proteína cruda y producción por hectárea, extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre por hectárea, se analizaron mediante el correspondiente análisis de varianza (InfoStat, 2002) y el análisis se basó en la comparación de las medias de los tratamientos, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Todos los parámetros de laboratorio se analizaron por las metodologías convencionales, (AOAC, 2005); el contenido de materia seca (MS) se determinó en una estufa a 60°C durante 72 horas. Se realizó un análisis foliar completo de cada muestra en el Laboratorio de Suelos y Foliare de la Universidad de Costa Rica, para los macro y micro elementos. El nitrógeno resultante de este análisis se multiplicó por 6,25, para obtener el contenido de proteína cruda de la biomasa.

Resultados y discusión

Producción de biomasa verde, seca y contenido de hojas

En este ensayo se encontraron diferencias significativas entre las dosis de nitrógeno (N) evaluadas ($p \leq 0,0004$) en la producción de forraje verde. Algunas de las dosis de nitrógeno aplicadas al Botón de oro mostraron diferencias entre medias y fueron superiores en producción de biomasa verde en toneladas por hectárea por corte (Cuadro 2). La dosis de 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ causó un incremento en la producción de biomasa verde de 46,6%, al compararla con la producción obtenida con 100 kilogramos de nitrógeno por hectárea por año, pero las diferencias no fueron significativas con las dosis de 300 y 400 kgN.ha⁻¹.año⁻¹, a los 49 días de crecimiento luego del corte de uniformidad.

Cuadro 2
Producción de biomasa verde, seca y contenido de hojas del Botón de oro en Santa Cruz, Costa Rica, 2016

Nitrógeno aplicado <i>kg.ha⁻¹.año⁻¹</i>	Biomasa verde <i>t.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	Biomasa seca <i>t.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	Contenido de hojas <i>%</i>
100	14,125 b	3,483 b	41 c
200	20,709 a	5,482 a	47 b
300	22,458 a	5,917 a	50 a
400	23,000 a	6,297 a	51 a
<i>EE</i>	<i>2,26</i>	<i>0,65</i>	<i>1,36</i>

a,b,c muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

Los datos del mismo cuadro parecen indicar una baja respuesta de la *Tithonia* a la fertilización nitrogenada, especialmente a altas dosis de nitrógeno (superior a los 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹); lo anterior explicaría la poca información sobre fertilización en Botón de oro y otras forrajeras arbustivas, y por qué es tan generalizado el uso de fertilización orgánica y excretas de animales en el manejo agronómico de *Tithonia diversifolia*.

Los rendimientos del Cuadro 2, son inferiores a los reportados por Nieves y otros (2011) de 250 toneladas de forraje verde por año, con cortes cada 45 días y Ríos (1993), menciona 46 toneladas por hectárea por corte, utilizando una densidad de siembra de 1,33 plantas por metro cuadrado. Otros trabajos presentaron resultados acordes con la producción de biomasa obtenida en este ensayo: 21,2 toneladas de biomasa verde, a los 50 días, sembrado a una densidad de 1 m x 0,75 m (Ríos, 1998), 40 toneladas de forraje verde por hectárea por año (Saria, 1999 citado por Saria y otros, 2005) y de 63 toneladas de forraje verde por año cuando se cosechó a 50 cm de altura (Ríos y Salazar, 1995). El STDF (2013) indica una producción de biomasa verde entre 27 y 40 toneladas por hectárea por corte de 6 a 8 semanas. Mahecha y Rosales (2005) expresan que el follaje del

Botón de oro presenta variaciones en su calidad nutritiva dependiendo del estado vegetativo en que se encuentre. En los estados de crecimiento avanzado (30 días) y prefoliación (50 días), se encontraron los valores más altos de proteína. Estos resultados, sumados a los reportes de Ríos (1998) sobre la capacidad de recuperación de las plantas en cortes sucesivos (19 cm/35 días y 44 cm/49 días utilizando densidades de siembra de 0,75m x 0,75 m), podrían indicar que el momento más adecuado para cosechar el forraje con fines alimenticios, sin causar deterioro en el cultivo, es su estado de prefloración (cortes cada 50 días). González y otros (2013) indican que la siembra directa al suelo de *Tithonia*, se debe realizar con el tallo acostado en el fondo del surco, utilizando para ello su parte media. Esto facilita la obtención de plantas con volúmenes superiores de biomasa.

Se encontraron diferencias significativas entre algunas de las dosis de nitrógeno (N) evaluadas ($p \leq 0,0004$) en la producción de biomasa seca. Algunas de las dosis de nitrógeno aplicadas al Botón de oro mostraron diferencias entre medias y fueron superiores en producción de biomasa seca en toneladas por hectárea por corte (Cuadro 2). La dosis de 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ causó un incremento en la producción de biomasa verde de 57,4%, al compararla con la producción obtenida con 100 kilogramos de nitrógeno por hectárea por año, pero las diferencias no fueron significativas con las dosis de 300 y 400 kgN.ha⁻¹.año⁻¹, a los 49 días de crecimiento luego del corte de uniformidad. La producción de biomasa seca es el producto de la biomasa verde por el contenido de materia seca, la cual no presentó cambios significativos cuando se fertilizó el Botón de oro, y los valores variaron entre 24,7% y 27,4% con las dosis de nitrógeno aplicadas.

Basado en los costos de los fertilizantes y en los resultados del Cuadro 2, parece apropiado concluir que la mejor dosis de nitrógeno, para producir una adecuada cantidad de biomasa seca, es cercana a los 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹, lo que significa 67 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹ de 49 días aproximadamente, bajo las condiciones de este ensayo. El aporte de esta cantidad de nitrógeno se debe hacer en dos dosis con un intervalo de 15 días.

Varios autores han encontrado resultados similares con Botón de oro a los expuestos en esta investigación: Ríos (1998) informa de producciones de biomasa seca de 3,67 toneladas con cortes a los 50 días; Soto y otros (2009) encontraron producciones de 11 toneladas de materia seca por hectárea por año y 57% de digestibilidad “in vitro” de la materia seca, Ríos y Salazar (1995) obtuvieron rendimientos de 14 toneladas de biomasa seca por hectárea por año. Velasco A., Holguín V. y Ortiz S. (2014) indican una producción de 14,6 toneladas de forraje seco por hectárea por año con cortes entre 50 y 60 días. Otros resultados fueron superiores, Nieves y otros (2011) reportaron producciones de 55 toneladas de materia seca por hectárea por año. Por otra parte, se encontraron rendimientos inferiores (Castillo-Mestre, 2016) para cosechas entre 90 y 100 días de

crecimiento, de 10,28 toneladas de biomasa verde por hectárea por año con marcos de siembra de 0,75 por 0,75 m, y de 13,52 toneladas con un marco de 1,0 m entre surcos y 1,0 m entre plantas.

La mayoría de los productores que utilizan la *Tithonia* para alimentación animal, aplican solo materia orgánica como estiércol de animales o lombricompost, después del corte (Gómez y otros, 2002).

El rendimiento de forraje es el factor que controla la extracción y el consumo de nutrientes, y la práctica de fertilización adquiere mayor significado en aquellas especies con alto potencial genético de producción. Para identificar la dosis apropiada de fertilizante se debe tomar en cuenta el nivel esperado de producción de forraje, las condiciones del suelo, el ambiente, la tecnología aplicada y el potencial genético de productividad de la especie (Bernal y Espinosa, 2003).

El contenido de hojas (%) del Botón de oro, a los 49 días de rebrote, presentó diferencias significativas ($p < 0,0001$) con la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno. El contenido de hojas (%) incrementó conforme se aumentaron las dosis de nitrógeno, pero con $400 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, la diferencia no fue significativa, como lo muestra el Cuadro 2. Lo anterior indica que hay un efecto significativo sobre el contenido de hojas de la *Tithonia*, al aplicar dosis crecientes de nitrógeno, por lo menos hasta la aplicación de $300 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

Algunos investigadores encontraron valores de contenido de hojas (%) en Botón de oro de 35,2% con densidades de 1,33 plantas por metro cuadrado (Ríos, 1998), inferiores a los reportados en este ensayo, con dosis crecientes de nitrógeno. Velasco A., Holguín V. y Ortiz S. (2014), señalan una relación hoja-tallo de 1,4 en *Tithonia*. Al aumentar la cantidad de hojas disponibles en un banco proteico o cultivo forrajero, incrementa la cantidad de nutrientes disponibles para los animales y la productividad animal por área, debido a un aumento en el consumo de follaje.

Las restricciones en el consumo de especies forrajeras en el potrero han sido asociadas con niveles bajos de ingestión por bocado los que, a su vez, están ligados a otros limitantes como la altura del forraje disponible, la densidad total del forraje o la densidad foliar, y la relación hoja-tallo o la relación material vivo-material muerto. La sugerencia de que los esfuerzos en la selección de plantas y en el manejo de los potreros deberían dirigirse al mejoramiento de esos parámetros, ha sido ampliamente aceptada (Hodgson J., 1983).

El botón de oro presenta niveles altos de carbohidratos solubles comparada con otras forrajeras (Medina y otros, 2009); es alta en minerales y la presencia de metabolitos secundarios antinutritivos, especialmente taninos condensados, parece no ser alta. Los animales consumen la planta completa, con preferencia por hojas y flores (Maina y otros, 2012 citados por Gallego-Castro y otros, 2014).

Al incluir harina de forraje de *Tithonia* en terneros (Ruíz y otros, 2014), obtuvieron ganancias por encima de los 700 g/animal/d, con un peso vivo superior a 100 kg a los cuatro meses. Se puede sustituir hasta 50 % del material proteico del concentrado por harina de esta forrajera para alimentar cabritos lactantes, alcanzando ganancias diarias de peso de 60 a 90 gramos. Otra ventaja de alimentar con *Tithonia* es su efecto desparasitante sobre los animales, Lezcano-Más y otros (2016) encontraron un efecto significativo del forraje de Botón de oro sobre la reducción de la carga parasitaria de los animales que lo consumían: el conteo fue de 150 hpg durante el período seco y 450 hpg durante el lluvioso, comparado con 500 y 3500 hpg respectivamente.

Contenido y producción de proteína cruda

Las dosis de nitrógeno evaluadas (N) presentan diferencias significativas (Cuadro 3) en el contenido de proteína cruda (%PC) del Botón de oro ($p \leq 0,0009$) cuando se cortó a los 49 días. La proteína cruda se calcula multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor 6,25. En el mismo cuadro, se observa que existe una tendencia, del contenido de proteína en la *Tithonia*, a incrementar con las dosis crecientes de nitrógeno aplicado al cultivo de Botón de oro, pero sólo se encontraron diferencias significativas entre las dosis de 100 kg y 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹.

Cuadro 3
Contenido de proteína cruda del Botón de oro en Santa Cruz,
Costa Rica, 2016

Nitrógeno aplicado <i>kg.ha⁻¹.año⁻¹</i>	Proteína cruda %	Proteína cruda <i>t.ha⁻¹.corte⁻¹</i>
100	10,16 b	0,355 b
200	12,64 a	0,692 a
300	12,78 a	0,758 a
400	12,91 a	0,810 a
<i>EE</i>	<i>0,79</i>	<i>0,08</i>

*a,b muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher;
corte: 49 días*

Crespo y otros, (2011) informaron sobre contenidos de proteína cruda en el Botón de oro de 22,2% a los 42 días; Naranjo y Cuantas (2011), citados por Gallego-Castro y otros (2014), indican niveles de 24,13% de PC en un corte de 60 días. Lezcano y otros (2012) también encontraron contenidos de proteína cruda, superiores a los obtenidos en este ensayo, de 22,17%PC a los 30 días y de 21,93%PC a los 60 días. Saria (1999), citado por Saria y otros (2005), reportaron valores de 21% a 28% de proteína cruda en *Tithonia*; Lezcano-Más y otros (2016) informaron sobre contenidos de proteína cruda de 19,03% durante la época seca y de 21,93%PC para la época lluviosa, en pastoreo con 39 días de descanso. Contenidos de proteína cruda similares a los de este

experimento, de 14,84%PC, fueron reportados por Navarro y Rodríguez (1990), citados por Mahecha y Rosales (2005), aunque también indican contenidos de 27,48%PC a los 50 días en prefloración. También, Gallegos-Castro y otros (2017a; 2017b) encontraron valores de proteína cruda entre 12,76 % y 14,10% y de 11,66%PC a los 56 días de edad, respectivamente.

Se encontró que el contenido de proteína cruda variaba de 28,51%, a los 30 días de edad, a 14,84% de la materia seca cuando se evaluaba a los 89 días. La proteína digestible para los bovinos también disminuía, del 22,19% al 10,08%, para las mismas épocas de crecimiento (Gómez y otros, 1997).

Los rumiantes producen alrededor del 23% del metano global (Galindo y otros, 2011) como producto de la fermentación de carbohidratos. Sin embargo, Galindo y otros (2012) señalan que el empleo de forrajeras, entre las que se menciona el botón de oro, puede influir si se mejora la actividad ruminal. Así mismo, de acuerdo con Carmona y otros (2005), esto podría reflejarse en una reducción de metano por unidad de proteína animal producida, como resultado del mejor balance entre los componentes de la dieta y la presencia de metabolitos secundarios como los taninos (Gallego-Castro y otros, 2014).

Los resultados obtenidos permiten concluir la factibilidad del uso de la *T. diversifolia* en la alimentación de los rumiantes, y que edades entre 70 y 90 días son las que permiten un mayor aprovechamiento de los nutrientes por el animal (La O y otros, 2008).

La producción de materia seca y el contenido de proteína son dos de las variables que mayormente han sido utilizadas en la evaluación de pastos; sin embargo, ambas variables se correlacionan negativamente. Lo anterior significa que si un pasto se selecciona por su producción forrajera, esto puede ir en detrimento de su valor en proteína y viceversa. De ahí la importancia de ofrecer alternativas que permitan evaluar simultáneamente la producción de materia seca y el contenido de proteína en pastos tropicales (Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar, 2007).

La producción de proteína por hectárea del Botón de oro ($t.PC.ha^{-1}.corte^{-1}$), a los 49 días de rebrote, fue afectada significativamente ($p \leq 0,0001$) por la fertilización nitrogenada, como lo muestra el Cuadro 3.

La fertilización con nitrógeno produjo un ligero incremento en la producción de proteína por hectárea por corte; sin embargo, sólo se observa una diferencia significativa entre aplicar 100 kg y 200 $kgN.ha^{-1}.año^{-1}$ (Cuadro 3). Por lo anterior, la dosis de nitrógeno recomendada debe ser de 200 $kgN.ha^{-1}.año^{-1}$, debido a que, en este caso, el parámetro toneladas de proteína cruda por hectárea debería ser el resultado más concluyente a tomar en cuenta, especialmente en los sistemas de producción animal en el trópico.

Se han reportado valores superiores de proteína por hectárea, de 2177 kgPC.ha⁻¹.corte⁻¹ a los 50 días de edad (Ríos, 1995; Ríos y Salazar, 1995).

Cuando se aplican fertilizantes nitrogenados en exceso, es decir, por encima de las necesidades nutricionales del cultivo, puede tenerse consumo de lujo y pérdida de nutrientes. Esto último reviste de importancia porque, dentro de un contexto de sustentabilidad, se deben evitar los efectos secundarios al realizar labores culturales que representen un riesgo ambiental, tales como la aplicación excesiva de fertilizantes (Lampkin, 1998; Enríquez y otros, 1999; Benzing, 2001; Pérez y Pacheco, 2004, citados por Juárez y Bolaños, 2007).

Ekeocha (2012) explica que la composición promedio de la harina de hojas de botón de oro, parece adecuada para usarse como concentrado proteico en rumiantes. Este autor indica que puede ser un buen sustituto de materias primas como el salvado de trigo, por sus aceptables niveles de fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, por lo que el animal podría obtener la energía que requiere. Además, reporta valores promedios de 16,33, 44,38 y 21,80%, para proteína cruda, extracto libre de nitrógeno y fibra cruda, respectivamente; la harina de hojas de botón de oro se obtuvo de plantas cosechadas a 50 cm de altura, luego de cuatro semanas de rebrote.

La *Tithonia diversifolia*, por su contenido de proteína, carbohidratos solubles (Medina y otros, 2009) y la presencia de taninos, puede ayudar a mejorar el balance ruminal en cuanto al aporte de energía y proteína. Lo anterior implica una mayor eficiencia para la transformación del amoníaco en proteína microbiana, lo que, a la vez, provoca una disminución en los costos energéticos por las menores pérdidas de amoníaco, metano y CO₂ ruminales y una disminución en la contaminación ambiental al reducir la liberación de metano a la atmósfera (Gallego-Castro y otros, 2014). Adicionalmente, podría mejorar de manera importante la calidad de la leche obtenida, al mejorar el paso de ácidos grasos de cadena larga (Fuentes, 2009 citado por Gallego-Castro y otros, 2014) y de proteínas que sirven de precursores para algunos de los componentes de la leche (Hervás y otros, 2001).

Extracción de minerales por la forrajera

Los contenidos de macro y microminerales del Botón de oro no variaron significativamente con la fertilización con nitrógeno y las tendencias de estos datos no son claras. Todos los minerales se presentaron en cantidades adecuadas para la producción animal (Botero, 1999).

Los contenidos de calcio y fósforo, expresados como porcentaje de la materia seca, disminuían a medida que se desarrollaba la planta, de 2,25% a 1,65% para el calcio, y de 0,39 a 0,32% para el fósforo. Los valores de magnesio variaban entre 0,046 y 0,069% de la materia seca (Gómez y otros, 1997).

Las altas concentraciones de potasio tienen repercusiones negativas sobre otros minerales, particularmente Ca y Mg. Es así como se ha señalado que, cuando la relación K/(Ca + Mg) es superior a 2,2 (sobre una base iónica equivalente), la posibilidad de presencia de hipocalcemia en el ganado se incrementa (Dugmore, 1998 citado por Correa, 2006). En este trabajo, dicha relación fue de 1,55 con la aplicación de 400 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ a los 49 días, por lo que alimentar con Tithonia no representa ningún riesgo para los animales. El potasio es el mineral con mayor capacidad de liberación en el rumen, debido a que este mineral, a diferencia del Ca, se encuentra en el citosol de las células vegetales (Correa, 2006).

La extracción o cantidad de macroelementos por hectárea de la forrajera Tithonia presentó una tendencia conforme se incrementaba la dosis de nitrógeno aplicado, pero solo la diferencia entre la aplicación de 100 kg y 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ fue significativa ($p \leq 0,0001$), como se observa en los Cuadro 4 y 5.

Cuadro 4
Extracción de nitrógeno, fósforo y potasio del Botón de oro en Santa Cruz, Costa Rica, 2016

Nitrógeno aplicado <i>kg.ha⁻¹.año⁻¹</i>	N	P <i>kg.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	K
100	57 b	11 b	86 b
200	111 a	15 a	134 a
300	121 a	16 a	138 a
400	130 a	16 a	154 a
<i>EE</i>	<i>12,82</i>	<i>2,44</i>	<i>18,39</i>

a,b muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

Aunque esta planta se recomienda para la alimentación animal (Mahecha y Rosales, 2005 y Mahecha y otros, 2007), varios autores le confieren alto valor como abono verde mejorador de la fertilidad de los suelos (Jama y otros, 2000 y De Oliveira y otros, 2007). Ríos (1998) y Ramírez (2005), citados por Crespo y otros (2011), resaltaron que la elevada producción de biomasa, su alto contenido de N, P y K y rápida capacidad de descomposición en el suelo, la hacen muy eficiente como abono verde.

Cuadro 5
Extracción de calcio, magnesio y azufre del Botón de oro en Santa Cruz, Costa Rica, 2016

Nitrógeno aplicado <i>kg.ha⁻¹.año⁻¹</i>	Ca	Mg <i>kg.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	S
100	31 b	9 b	5 b
200	58 a	17 a	8 a
300	62 a	18 a	8 a
400	66 a	21 a	8 a
EE		3,65	1,53
	12,63		

a,b muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

Navarro y Rodríguez (1990), citados por Mahecha y Rosales (2005), reportan valores de calcio de 2,14%, fósforo de 0,35% y magnesio de 0,05% en cortes de 50 días, en Tithonia.

Discusión general

Las dosis crecientes de nitrógeno causaron una tendencia de la Tithonia a incrementar la producción de forraje seco, el contenido de hojas del forraje y el porcentaje y producción de proteína, pero sólo mostró significancia la diferencia entre las dosis de 100 kg y 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹, que corresponden a 33,3 kg y 66,7 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹ en los tres cortes anuales, lo que sugiere que el Botón de oro no responde a dosis altas de nitrógeno. Es importante evaluar este cultivo con dosis inferiores a las utilizadas en este ensayo, para determinar si existe respuesta significativa a una dosis inferior a 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹. Se sugiere dividir la aplicación de 66,7 kgN.ha⁻¹, en dos aplicaciones por corte de 49 días, inferiores a los 40 kgN.ha⁻¹, para evitar excesos al cultivo.

Conclusiones

Se recomienda utilizar fertilizante nitrógenado, a razón de 200 kgN.ha⁻¹.año⁻¹, con cortes de 49 días en el Botón de oro, en condiciones similares a las de este ensayo.

Referencias bibliográfica

- AOAC (2005) Association of Official Analysis Chemistry. Official methods of analysis. 18th ed. AOAC, MD, USA.
- Bernal J., Espinosa J. (2003) Manual de nutrición y fertilización de pastos. Potash and Phosphate Institute of Canada. 94p.
- Botero R. (1999) Fertilización racional y renovación de pasturas mejoradas en suelos ácidos tropicales. EARTH, Costa Rica. 21p.

- Carmona J., D. Bolívar, y L. Giraldo (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 18:49-63.
- Castillo-Mestre R. y otros (2016) Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes* 39(2):89-93.
- Cerdas R. (2011) Programa de fertilización de forrajes; desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes.* 12 (24):109-128.
- Chavarría F. (1990) Gramíneas de pastoreo bajo fertilización nitrogenada y riego durante la época seca de Guanacaste. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 83p.
- CIA (2015) Reporte de análisis de suelo de la Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste. Laboratorio de Suelos, Universidad de Costa Rica, 1p.
- Correa H.J. (2006) Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) cosechado a dos edades de rebrote. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 13p.
- Crespo G., Ruiz T.E. y Álvarez J. (2011) Efecto del abono verde de *Tithonia (T. diversifolia)* en el establecimiento y producción de de forraje *P. purpureum* cv. Cuba CT-169 y en algunas propiedades del suelo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(1),79-82.
- De Oliveira, P. S. y otros (2007). Produção e qualidade de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) gray, em função de espaçamentos e estádios de desenvolvimento da planta, para uso potencial como adubo verde. *Unimar Ciencia* 16:67
- Ekeocha, A. (2012). Performance of growing west african dwarf ewe fed mexican sunflower leaf meal based diets. *J. Rec. Adv. Agri.* 1:69-76.
- Galindo, J. y otros (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones *in vitro*. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 45:33-37.
- Galindo, J. y otros (2012). Efecto de *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Albizia lebbek* (L.) Benth y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (material vegetal 23) en la población de metanógenos y en la ecología microbiana ruminal. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 46:273-278.
- Gallego-Castro L.A., Mahecha-Ledesma L. y Angulo-Arizala J. (2014) Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. *Agron. Mesoam.* 25(2), 393-403.
- Gallego-Castro L.A., Mahecha-Ledesma L. y Angulo-Arizala J. (2017a) Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agron. Mesoam.* 28(1), 213-22.

- Gallego-Castro L.A., Mahecha-Ledesma L. y Angulo-Arizala J. (2017b) Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con *Tithonia diversifolia*. Agron. Mesoam. 28(2), 357-370.
- Gómez M.E. y otros (1997) Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. Centro de Investigaciones en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria. Cali, Colombia. p115-126
- González D. y otros (2013) Sección del tallo y forma de plantación: su efecto en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 47(4):425-429.
- Herrera R.S. (2007) Toma y procesamiento de la muestra de pasto, su influencia en indicadores morfológicos y composición química. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 41(3):209-213.
- Hervás, G., P. Frutos, y A. Mantecón. (2001). Protección de suplementos proteicos frente a la degradación ruminal: utilización de taninos. Agron. Mesoam. 25(2):393-403. 2014 402
- Hodgson J. (1983) La relación entre la estructura de las praderas y la utilización de plantas forrajeras tropicales. En. CIAT Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas, metodologías de evaluación. CIAT, Colombia. pag. 33-47
- InfoStat (2002) Software estadístico, versión 1.1. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Primera edición, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. CD.
- Jama, B. y otros (2000) *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western Kenya A review. Agroforestry systems 49, 201
- Juárez-Hernández J., Bolaños-Aguilar E.D. (2007) Curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. Universidad y Ciencia, 23(1):81-90.
- La O, O. y otros (2008) efecto de la edad de corte en la capacidad fermentativa *in vitro* y la dinámica de degradación ruminal *in situ* de *Tithonia diversifolia*. Zootecnia Trop., 26(3):243-247.
- Lezcano Y. y otros (2012) Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. Pastos y Forrajes 36(3):275-282.
- Lescano Y. y otros (2016) Forraje de *Tithonia diversifolia* para el control de strongílidos gastrointestinales en bovinos jóvenes. Pastos y Forrajes 39(2):133-138.
- Mahecha, L., J. Escobar, J. Suárez, y L. Restrepo. (2007). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú). Livestock Res. Rural Dev. 19(2):16. [http:// www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm](http://www.lrrd.org/lrrd19/2/mahe19016.htm)
- Mahecha, L., y M. Rosales. (2005). Valor nutricional del follaje de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, en la producción animal en el trópico. Livestock Reseach for Rural Development. 17(9),100-1012.
- Medina, M. y otros (2009). Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. Zootecnia Trop. 27,121- 134.

- Naranjo, J., y C. Cuartas. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. Rev. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia 6(1),9-19.
- Nieves, D., O. Terán, L. Cruz, M. Mena, F. Gutiérrez, y J. L. (2011). Digestibilidad de nutrientes en follaje de árnica (*Tithonia diversifolia*) en conejos de engorde. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14,309–314.
- Pérez A. y otros (2009) *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray. Pastos y Forrajes 32(1),1-15
- Ríos C. I. (1993) Efecto de la densidad de siembra y altura de corte sobre la producción de biomasa del botón de oro (*Tithonia diversifolia*; Hemsl y Gray), evaluada en cortes sucesivos. Investigación, validación y capacitación en Sistemas Agropecuarios Sostenibles. Convenio CETEC - CIPAV - IMCA. Informe.
- Ríos C. y Salazar A. (1995) Botón de oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) una fuente proteica alternativa para el trópico. Livestock Research for Rural Development, Vol. 6, N. 3, p 75 – 87.
- Ríos, C.I. (1998). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray, una planta con potencial para la producción sostenible en el trópico. Conferencia electrónica de la FAO-CIPAV sobre agroforestería para la producción animal en Latinoamérica. Artículo No. 14. Disponible: <http://www.fao.org/ag/AGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/Rios14.htm>
- Ruíz, T.E. y otros (2014) *Tithonia diversifolia*, sus posibilidades en sistemas ganaderos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 48(1),79-82
- Sarria, P. y otros (2005). Valor nutricional de algunas forrajeras para la alimentación de monogástricos. Alimentación no convencional para monogástricos en el trópico. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. p 115-128
- Soto, S., Rodríguez J.C. y Russo R. (2009) Digestibilidad *in vitro* en forrajes tropicales a diferentes edades de rebrote. Tierra Tropical 5(1), 83-89
- STDF (2013) Pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp.*). Sistema de toma de decisión para la selección de especies forrajeras. 1p.
- Uribe F. y otros (2011) Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. p. 78.
- Velasco A., Holguín V. y Ortiz S. (2014) Productividad de diferentes ecotipos de *Tithonia diversifolia* provenientes de la región cafetalera y valla del río Cauca. Agroforestería neotropical 4, 35-39