

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

### Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre las características morfológicas y rendimiento agronómico del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos<sup>1</sup>

Maikol Astúa-Ureña<sup>A2</sup>, Carlos M. Campos-Granados<sup>A3E3</sup>, Augusto Rojas-Bourrillon<sup>A4</sup>

## RESUMEN

Se evaluaron variables morfológicas y de rendimiento agronómico del botón de oro ecotipo INTA-Quepos, a diferentes dosis de fertilización nitrogenada (0, 100 y 200 kg N/ha/año) y a 2 edades de cosecha (40 y 60 días). El experimento se llevó a cabo en el Pacífico Central de Costa Rica, a una altura de 15 msnm y en un suelo del orden Inceptisol; el período evaluado comprendió tanto época lluviosa como seca durante el año 2019. El diseño experimental correspondió a un factorial 3x2, con un total de 24 parcelas de 4 m<sup>2</sup> distribuidas en 4 bloques. Las diferencias encontradas en las variables morfológicas de relación hoja:tallo, área foliar, altura de la planta y biomasa fueron explicadas por la interacción entre la edad y el nivel de nitrógeno aplicado. La biomasa mostró un efecto creciente sin importar la edad de cosecha evaluada a causa de la fertilización, este efecto se espera que sea mayor con un patrón de lluvias uniformes. Con respecto a las variables morfológicas (área foliar y altura de la planta), se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, siendo el tratamiento de 60 días de cosecha y 200 kg N/ha/año el que obtuvo los mayores valores (102 cm<sup>2</sup> y 84 cm, respectivamente). Se concluye que el botón de oro (ecotipo INTA-Quepos) es una planta con un excelente potencial para la producción en zonas como las del presente estudio, además, con una respuesta a dosis nitrogenadas que vienen a mejorar características de interés.

**Palabras clave:** biomasa, altura de planta, fertilizante, relación hoja:tallo, área foliar.

<sup>1</sup>Este trabajo forma parte de la tesis de licenciatura del primer autor. Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

<sup>4</sup>Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José Costa Rica.

<sup>2</sup> Correo electrónico: [maikol.astua@ucr.ac.cr](mailto:maikol.astua@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0002-4513-8017>)

<sup>3E3</sup> Autor para correspondencia: [carlosmario.campos@ucr.ac.cr](mailto:carlosmario.campos@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0002-0079-2621>)

<sup>4</sup> Correo electrónico: [augusto.rojas@ucr.ac.cr](mailto:augusto.rojas@ucr.ac.cr) (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>)

Recibido: 31 agosto 2020                      Aceptado: 14 junio 2021

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



## ABSTRACT

**Effect of nitrogen fertilization and harvest age on the morphological characteristics and agronomic performance of tree marigold (*Tithonia diversifolia*) ecotype INTA-Quepos.** Morphological and agronomic performance variables of the tree marigold ecotype INTA-Quepos were evaluated at different doses of nitrogen fertilization (0, 100 and 200 kg N/ha/year) and at 2 harvest ages (40 and 60 days). The experiment was carried out in the Central Pacific of Costa Rica, at an altitude of 15 meters above sea level and in a soil of the order Inceptisol; the evaluated period comprised both rainy and dry seasons, during 2019. The experimental design corresponded to a 3x2 factorial, with a total of 24 plots of 4 m<sup>2</sup> distributed in 4 blocks. The differences found in the morphological variables of leaf:stem relationship, leaf area, plant height and yield were explained by the interaction between age and the level of nitrogen applied. The yield showed an increasing effect regardless of the harvest age evaluated due to fertilization; this effect is expected to be greater with a uniform rain pattern. Regarding the morphological variables (leaf area and plant height), significant differences were found between the different treatments, being the treatment of 60 days of harvest and 200 kg N/ha/year the one that obtained the highest values (102 cm<sup>2</sup> and 84 cm, respectively). It is concluded that the tree marigold (ecotype INTA-Quepos) is a plant with excellent potential for production in areas such as those of the present study, in addition, with a response to nitrogenous doses that improve characteristics of interest.

**Keywords:** yield, plant height, fertilizer, leaf:stem ratio, leaf area.

## INTRODUCCIÓN

En condiciones tropicales, las pasturas son la base de la producción bovina (INEC,2019). Según Rojas-Bourrillon y Campos-Granados (2015), estas pasturas a pesar de que presentan buenas producciones de biomasa, a nivel nutricional tienen deficiencias, ya que ambas características están asociadas a diversos factores, entre ellos; la especie vegetal, condiciones agroecológicas y el manejo del cultivo (Gallego-Castro et al., 2017). La *Tithonia diversifolia*, es una planta considerada promisorio para el uso en alimentación animal, principalmente en rumiantes, debido a su alta digestibilidad de materia seca. Según La et al. (2012) el rango de dicho parámetro es de 72,2 a 79,8 %, mientras Arronis-Díaz (2015) ha reportado datos de 85 % en Costa Rica.

La *Tithonia diversifolia* es una planta perenne, arbustiva de la familia Asteraceae, su altura oscila entre 1,5 a 4 metros, tallo erecto, ramificado y posee hojas alternas y pecioladas (Pérez et al. 2009). Se considera originaria de México y Centroamérica, sin embargo, se ha extendido a América del Sur, África, Asia y algunas islas del Pacífico (González-Castillo et al., 2014). El botón de oro, posee gran volumen de raíces y habilidad especial para extraer los escasos nutrientes del suelo (Pérez et al., 2009), particularmente una gran capacidad de movilizar fósforo (Medina et al., 2009).

La producción de biomasa del botón de oro ha sido variada en las distintas investigaciones, presentando rangos desde 4 a 55 ton MS/ha/año, con valores modales cercanos a las 30-40 ton (Zavala et al., 2007; Lezcano et al., 2012; Arronis-Díaz, 2015; Arias-Gamboa, 2018). Es importante resaltar que la producción de biomasa en el botón de oro, al igual que muchos forrajes, se ve influenciada por el factor precipitación, teniendo valores a 45 días de edad de 1,1 ton MS/corte/ha 0 mm y de 5,4 ton MS/corte/ha a 323 mm (Navas-Panadero y Montaña, 2019).

La fertilización (orgánica e inorgánica) es considerada una estrategia eficiente de nutrición para las plantas, pues a través de esta se provee a la planta de los nutrimentos necesarios para su crecimiento. El nitrógeno (N) es el nutrimento más considerado al momento de las fertilizaciones, debido a que se obtiene respuesta en la productividad de los forrajes. Esta respuesta se debe a la participación del N en reacciones bioquímicas involucradas en el crecimiento de la parte foliar de las plantas en general (Pezo, 2018).

La respuesta del botón del oro a la fertilización se ha evaluado escasamente, debido a que se considera una planta con capacidad de producir forraje a bajos niveles de fertilización. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción de biomasa y características morfológicas de *T. diversifolia* bajo distintas edades de rebrote y niveles de fertilización nitrogenada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en la finca comercial La Florita S.A., ubicada en Quebrada Amarrilla, Puntarenas, Costa Rica, en las coordenadas N9 34.561 W84 32.395. La finca se encuentra a una altura de 15 msnm, con un promedio de lluvias de 265,7 mm/mes y un acumulado de 3.188,3 mm/año distribuidos en 117,9 días al año (Instituto Meteorológico

Nacional de Costa Rica, 2019). El periodo experimental comprendió entre agosto de 2018 a abril de 2019.

### Características del suelo

Para la caracterización química del suelo, se tomó una muestra de suelo del área a cultivar. La muestra consistió en un total de 12 submuestras, utilizando barreno a una profundidad de 20 cm. Las características químicas del suelo se detallan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características del suelo usado para el desarrollo del experimento.

KCl-Olsen Modificado	pH		cmol(+)/L				%			mg/L			
	H <sub>2</sub> O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	MO	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Nivel crítico	5,5	0,5	4	1	0,2	5	-	-	10	3	1	10	5
Muestra	5,5	0,3	25,2	15,1	0,1*	40,8	0,8	2,9	3*	3,4	12	50	41

CICE=Capacidad de intercambio catiónico efectiva.

MO= Materia orgánica.

\* Se realizaron las aplicaciones respectivas de P y K antes del inicio del periodo experimental para llegar al nivel crítico del suelo.

Fuente: Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

### Pluviometría

Los datos de precipitación de la fincase recolectaron durante el período experimental con la ayuda de un pluviómetro, el cual fue colocado en un espacio abierto de la finca y se revisaban y registraban los datos todos los días a las 6 a.m. En el Cuadro 2 se puede evidenciar el acumulado de lluvia durante el período experimental y la distribución mensual.

**Cuadro 2.** Régimen pluviométrico presentado en el periodo experimental de septiembre 2018-abril 2019.

	Periodo experimental (meses)								Total
	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
Precipitación Acumulada (mm)	343	903	182	0	0	0	0	60	1.488
Distribución (%)	23	61	12	0	0	0	0	4	100

Con el fin de evaluar el efecto, la precipitación acumulada por tratamiento se utilizó como covariable. Los datos promedio para los tratamientos a 40 días y con diferentes dosis de fertilizante fue de  $357 \pm 348$  mm, mientras que para los tratamientos a 60 días fue de  $388 \pm 522$ .

### Tratamientos

Los tratamientos fueron determinados por la interacción de la edad de corte (40 y 60 días) con los niveles de fertilización (0, 100 y 200 kg N/ha/año). La fertilización se distribuyó en tres dosis durante los meses de setiembre, octubre y noviembre. La fuente utilizada fue el nitrato de amonio (33,5% N) y la aplicación se realizó localizada por planta cuando esta tenía 15 días de rebrote.

**Cuadro 3.** Distribución de los niveles de los factores evaluados según tratamiento.

Tratamiento	Edad de corte (días)	Nivel de fertilización (kg/N/ha/año)
T1	40	0
T2	40	100
T3	40	200
T4	60	0
T5	60	100
T6	60	200

### Cultivo

El ecotipo de botón de oro utilizado correspondió al INTA-Quepos, el cual se estableció por medio de estacas de 40 cm, sembradas de forma vertical a 10 cm de profundidad y en un marco de siembra de 1 m x 1 m, para obtener una densidad de siembra de 10.000 plantas/ha. Después de 4 meses (120 días) de crecimiento del cultivo (desarrollo radicular y generación de reservas) se realizó un corte de homogenización y 15 días después se realizó la primera aplicación de fertilizante.

### Muestreo

Una vez realizado el corte de homogenización y establecidas las parcelas experimentales se realizó el muestreo de las plantas centrales de la parcela, descartando aquellas plantas de los bordes. Cada unidad experimental se cortó en cuatro ocasiones (2 en época seca y 2 en época lluviosa) para la toma de variables de interés, estos cortes se realizaron a 30 cm de altura del suelo de forma manual con un cuchillo, cosechando tallo y hojas.

### VARIABLES DE ESTUDIO

#### Materia seca

Para obtener el porcentaje de materia seca se tomaron muestras de 1 kg por repetición, y fueron ingresadas el mismo día de cosecha al Laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, para realizar el análisis de materia seca

siguiendo la metodología tradicional, gravimétrica, donde se pesa la muestra fresca, posteriormente se lleva a una estufa a 80°C por 48 h, hasta llegar a masa constante, finalmente, se determina materia seca por diferencia de peso.

### **Biomasa**

Durante los muestreos, se pesó el material disponible por parcela con una balanza (Brecknell Electro Samson®), donde dicho material se cosechó a 30 cm del suelo. Posteriormente, con el valor de materia seca se procedió a multiplicar por biomasa fresca para obtener los kg MS/corte/ha.

### **Relación hoja:tallo**

Los datos de esta variable se obtuvieron en materia fresca, para generar dicha relación se seleccionaba al azar una planta por parcela, la cual se separaba en hojas + peciolo y tallo, posteriormente se pesaron en una balanza (Brecknell Electro Samson®) y el cociente de dicha relación corresponde al dato de interés.

### **Altura de la planta**

Se midió la altura de las plantas muestreadas de cada parcela con una cinta métrica, la medición se realizó desde los 30 cm de altura de corte hasta el ápice de un eje de rebrote al azar por planta, teniendo 4 mediciones por parcela en cada muestreo. La altura reportada por parcela consistió en el promedio de las cuatro plantas.

### **Área foliar**

Para obtener dicha variable se siguió la metodología reportada por Holguin et al. (2015), tomando una planta al azar por parcela, posteriormente se seleccionaron 5 hojas de la parte superior y 5 hojas de la parte inferior. Posteriormente fueron fotografiadas y analizadas siguiendo el protocolo del software libre ImageJ® 1.47v (Rasband, 2016), para obtener el área foliar por hoja. Luego se promediaron las 10 mediciones para obtener un valor de área de hoja por parcela.

### Diseño experimental

Para el diseño experimental factorial 2x3 (edad de cosecha y nivel de fertilización nitrogenada) se utilizaron 24 unidades experimentales (parcelas de 4 m<sup>2</sup> cada una), para un total de 4 repeticiones para cada tratamiento, distribuidas en 4 bloques (los bloques corresponden a las zonas del área experimental, pues esta no tenía una infiltración de agua homogénea). Los tratamientos se asignaron de forma aleatoria en los diferentes bloques.

El análisis estadístico se realizó por medio del programa estadístico Infostat® (Di Rienzo et al. 2013), utilizando la función de modelos generalizados mixtos (GML) con una distribución de Poisson para las variables morfológicas. Los valores de materia seca se evaluaron mediante un análisis de covarianza.

Para la función de modelos generalizados mixtos (GML) se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + Ecort_i + Nfert_j + Ecort_i * Nfert_j + B_k + \beta AI + E_{ijklm}$$

En cuanto al análisis de covarianza se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + Ecort_i + Nfert_j + Ecort_i * Nfert_j + \beta AI + E_{ijklm}$$

Donde:

$Y_{ijklm}$ : respuesta asociada a la k-ésima repetición del i-ésimo tratamiento y el j-ésimo tratamiento.

$\mu$ : media general de la respuesta

$Ecort_i$ : efecto del i-ésimo tratamiento edad de corte.

$Nfert_j$ : efecto del j-ésimo tratamiento nivel fertilización.

$Ecort_i * Nfert_j$ : efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento edad de corte y el j-ésimo tratamiento nivel de fertilización.

$B_k$ : efecto del k-ésimo bloque

$\beta AI$ : efecto de la i-ésima covariable precipitación acumulada



$E_{ijklm}$ : error experimental asociado a la k-ésima repetición del del i-ésimo tratamiento y el j-ésimo tratamiento.

Para determinar diferencias significativas entre las medias se utilizó la prueba de LSD Fisher con un nivel de significancia del 5%, para ambos modelos estadísticos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la actual investigación el contenido de MS de la *Tithonia diversifolia* mostró diferencias ( $p < 0,05$ ) para el factor edad, siendo menor a los 40 días ( $16 \pm 5 \%MS$ ) respecto a 60 días ( $20 \pm 4 \%MS$ ). Estos valores se encuentran en el rango reportado en la literatura (Gualberto et al., 2011; Lezcano et al., 2012; Gallego-Castro et al., 2014). No se observaron diferencias significativas entre las dosis de fertilización evaluadas, obteniendo valores de 18, 18 y 19% de MS promedio para las dosis de 0, 100 y 200 kg de N/ha/año.

Las variables evaluadas (Cuadro 4) presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los distintos tratamientos (a excepción de la variable relación hoja:tallo), mostrando que las medias reportadas fueron influenciadas y explicadas por la interacción entre la edad de cosecha y el nivel de fertilización nitrogenada.

**Cuadro 4.** Respuesta de las variables morfológicas y de rendimiento de la *Tithonia diversifolia* según la edad de rebrote y nivel de fertilización nitrogenada.

Variable	Tratamiento					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Edad (días):kg N/ha	40:0	40:100	40:200	60:0	60:100	60:200
Biomasa (kg MS/corte/ha)	269 <sup>a</sup> ±158	540 <sup>b</sup> ±316	1.090 <sup>c</sup> ±1.049	1.567 <sup>d</sup> ±1.390	1.699 <sup>e</sup> ±1.522	2.044 <sup>f</sup> ±1.641
Altura (cm)	31 <sup>a</sup> ±15	42 <sup>b</sup> ±25	55 <sup>b</sup> ±35	69 <sup>c</sup> ±48	68 <sup>c</sup> ±51	84 <sup>d</sup> ±53
Relación hoja:tallo	3,1±1,5	2,3±1,3	2,6±2,1	1,9±1,5	2,5±2,6	1,6±1,5
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	41 <sup>a</sup> ±27	53 <sup>b</sup> ±38	85 <sup>c</sup> ±67	76 <sup>b</sup> ±64	84 <sup>b</sup> ±67	102 <sup>c</sup> ±85

<sup>a,b</sup> Letras diferentes entre filas corresponden a diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

La relación H:T según el tratamiento evaluado no muestra diferencias significativas. La relación H:T a 60 días es mayor al valor reportado por Gallego-Castro et al.(2015) de 0,95 a 56 días. Sin embargo, se encuentra cercano al valor informado por Holguin et al. (2015) de 1,70 a 60 días. La relación H:T del botón de oro fue mayor que los valores reportados para pastos de corte, como es el caso de las variedades de *Pennisetum purpureum*, las cuales presentan valores de relación H:T de 0,54-0,65 (Araya y Boschini, 2005).

La relación H:T (Cuadro 4) indica una tendencia ( $p=0,16$ ) en la interacción de los factores edad y nivel de fertilización, presentando menores valores de relación cuando se aplica fertilización, en otras palabras, del peso total de la planta un mayor porcentaje corresponde al tallo. Este es el comportamiento habitual de las plantas, debido a que su tallo es un reservorio de nutrientes, además de ser la estructura encargada de mantener su porte erecto. Esto coincide con la información reportada en otros forrajes (Elizondo y Boschini, 2001).

Las medias de la altura presentaron diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) en los tratamientos evaluados (Cuadro 4). A 40 días de edad se encontró que al aumentar la fertilización de 0 a 100 kg N/ha/año se aumenta la altura de la planta. Sin embargo, a los 60 días, la respuesta de 200 kg N/año fue significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor que las demás. Esta respuesta es congruente con lo reportado por Cerdas-Ramírez, (2015), ya que menciona que un efecto de la fertilización es el aumento en altura de la planta. De igual forma, López-Hidalgo et al.,

(2017) y Sotomayor-Alvarez et al. (2017) concluyeron que el nivel de nitrógeno aumenta la altura en *Centrosema pubescens* (leguminosa) y *Zea mays* (gramínea).

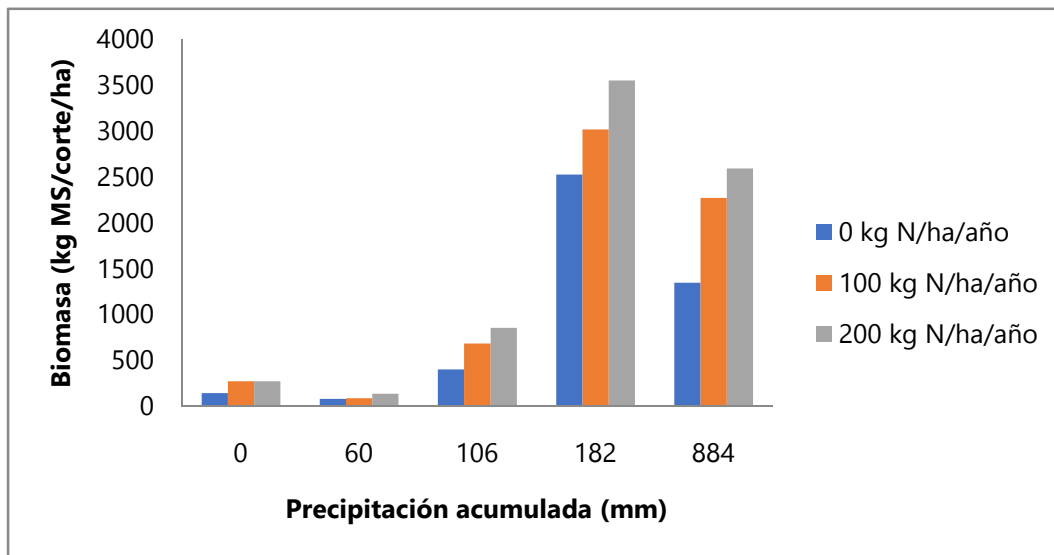
La altura máxima obtenida en esta investigación corresponde a 84 cm. Pérez et al. (2009) indican que esta planta puede llegar a alcanzar hasta 4 m, sin embargo, en el presente estudio las plantas se cosecharon a un máximo de 60 días, por lo que no han terminado su desarrollo. Por otro lado, Holguin et al. (2015) reportan alturas de 2,46 m a una edad de corte de 60 días durante la época lluviosa. Según Ruiz et al. (2010) y Gallego-Castro et al. (2015), en épocas de escasez de lluvias la altura de las plantas oscila en 70 y 125 cm, lo cual es congruente con la información generada en la actual investigación.

El área foliar de la *Tithonia diversifolia* (Cuadro 4) presentó diferencias significativas entre tratamientos. La mayor área foliar se presentó en el T6 (60d:200 kg N), con un valor de 102,38 cm<sup>2</sup>, el cual fue superior en un 25 % a lo reportado por Holguin et al., (2015) en una evaluación de 44 ecotipos en Colombia. A los 40 días de edad se presentó un incremento de área foliar conforme se aumentó el nivel de fertilización, este comportamiento no se presentó a los 60 días, lo que podría deberse a los patrones de lluvias desuniformes en la región geográfica donde se llevo a cabo el estudio, las diferencias propias de la respuesta de la planta a las épocas evaluadas y finalmente a otros factores externos que no fueron evaluados (plagas o características físicas del suelo). En los cultivos el área foliar es importante debido a que, se ha registrado que a mayor área, la planta tiene mayor capacidad para interceptar la radiación fotosintéticamente activa, y que, a la vez, significaría mayor energía que puede ser usada para fabricación de tejidos (Warnock et al., 2006). Además, plantas con menores áreas foliares tienden a almacenar más compuestos a nivel de pared celular, mientras que a mayor área tienden a presentar mayor contenido celular (Poorter, 2002).

Las áreas foliares en las dos edades evaluadas fueron superiores al fertilizar con 200 kg N/ha (Cuadro 4). En un estudio realizado por Betancourt-Yanez et al.(1998) concluyeron que el aumento del N a nivel de la fertilización conlleva a mayor área foliar en maíz. Por otro lado, Poorter et al. (1995) evidencian la importancia de la disponibilidad de N en el desarrollo de área foliar en plantas de lento y rápido crecimiento por igual.

La interacción entre la edad y el nivel de fertilización presentó un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) en la producción de biomasa de la *T. diversifolia*, representado un aumento de biomasa al incrementar el nivel de fertilización y la edad de cosecha. Otros autores han reportado que las fertilizaciones nitrogenadas crecientes reflejan mayores producciones de biomasa (Boschini et al., 1999; López-Hidalgo et al.,2017), debido a que el nitrógeno participa en los principales procesos metabólicos como lo es la fotosíntesis, y a la vez, se puede tener un ciclo vegetativo más largo en las plantas (Bertsch, 1998).

La mayor biomasa (2.044 kg MS/corte) se reportó a la edad de cosecha de 60 días. En otros estudios se ha reportados producciones similares para el botón de oro en edades de cosecha de 49-60 días (Zavala et al., 2007; González et al., 2013; Castillo-Mestre et al., 2016). Por otro lado, Ruiz et al. (2012) informan producciones de un 20% menores al del presente estudio, sin embargo, Gallego-Castro et al. (2016) mencionan producciones de 16-20 t/año. De igual manera, Arias-Gamboa (2018) señala producciones de 30 t MS/año, este último valor correspondió a la época lluviosa. Estas variaciones en biomasa se pueden ver afectadas por aspectos como la fertilidad del suelo, el nivel de fertilización, factores climáticos (Gallego-Castro et al., 2014) y el ecotipo de la planta (Holguin et al., 2015).



**Figura 1.** Comportamiento de la producción de biomasa según los niveles de fertilización y precipitación durante el periodo experimental para *Thitonia diversifolia*.

La Figura 1 muestra como la tendencia de la producción de biomasa se ve influenciada la disponibilidad de precipitación, al igual, el efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa se ve afectada por dicho factor, mostrando mejor respuesta a la fertilización, traducido en kg de biomasa. A mayor nivel de precipitación, la materia seca del forraje es menor, lo cual explica que los resultados más favorables no se dieran en el periodo de máximas lluvias, sin embargo, es importante resaltar que el cultivo de botón de oro no es tolerante a excesos de humedad en el suelo (Arguello-Rangel et al., 2019).

Según Mendes-Reis et al., (2015), cuando se tienen periodos de estrés hídrico los estomas se cierran, ocasionando menor captación de CO<sub>2</sub>, al final conllevando una reducción en la eficiencia fotosintética y, por ende, comprometiendo el crecimiento de las plantas.

## CONSIDERACIONES FINALES

La fertilización nitrogenada refleja un efecto positivo sobre la producción de biomasa del botón de oro en las dos edades evaluadas, por lo tanto, el botón de oro sí presenta respuesta a la fertilización.

Las edades de cosecha evaluadas en este estudio muestran que para el botón de oro la edad de 40 días mostró las mejores respuestas productivas bajo las condiciones evaluadas en este estudio, y esto es congruente con los intervalos de corta que se propones para este cultivo en Costa Rica (40 hasta 60 días de cosecha).

La fertilización nitrogenada demostró tener un impacto positivo en el área foliar del cultivo, esto toma mucha relevancia debido a la alta correlación que presenta esta variable respecto al rendimiento en biomasa. Sin embargo, el área foliar deprime su crecimiento después de los 40 días de edad, lo cual puede orientar que la planta llega a su óptimo desarrollo cercano a esta edad, en las condiciones del presente estudio.

La respuesta en las variables morfológicas a la fertilización nitrogenada posiblemente tuvo una afectación por el comportamiento de la precipitación durante el período experimental. En el caso de la biomasa refleja este comportamiento, donde a mayor precipitación, mayor es la amplitud entre las curvas de biomasa respecto al nivel de nitrógeno aplicado.

## LITERATURA CITADA

- Argüello-Rangel, J., Mahecha-Ledesma, L., y Angulo-Arizala, J. 2019. Arbustivas forrajeras: importancia en las ganaderías de trópico bajo Colombiano. *Agron.Mesoam*, 30(3): 899-915. doi:10.15517/am.v30i3.35136
- Araya, M yBoschini, C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. *Agron.Mesoam*16(1):37-43.6. Araya- Prod. forraje (mag.go.cr) (consultado 25 may. 2021).
- Arias-Gamboa, L. 2018. Evaluación del uso de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) como suplemento de vacas Jersey en etapa productiva. Tesis Lic. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica. 74 p.
- Arronis-Díaz, V. 2015. Validación de la utilización del forraje botón de oro (*Tithonia diversifolia*), en sistemas intensivos de producción de carne en la Región Brunca. Costa Rica, s.e.
- Bertsch, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. 1a ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Betancourt-Yanez, P, González-Ríos, J, Figueroa-Sandoval, B y González-Cossio, F. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Terra latinoamericana* 16(3):231-237.
- Boschini, C, Dormond, H y Castro, Á. 1999. Respuesta de la morera (*Morus alba*) a la fertilización nitrogenada, densidades de siembra y a la defoliación. *Agron.Mesoam* 10(2):7-16.
- Castillo-Mestre, R, Betancourt-Bagué, T, Toral-Pérez, O y Iglesias-Gómez, J. 2016. Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*. 39(2):89-93. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1887> (consultado 01 May. 2021).
- Cerdas-Ramirez, R.2015. Comportamiento productivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*) con varias dosis de fertilización nitrogenada (en línea). *Intersedes XVI* (33):124-145. DOI 10.15517/ISUCR.V16I33.19028

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. 2013. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Elizondo, J y Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agron. Mesoam.* 12(737):181-187.
- Gallego-Castro, LA, Machena-Ledesma, L y Angulo-Arizala, J. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras (en línea). *Agron.Mesoam.* 25(2):393. doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34076
- Gallego-Castro, L.A., Mahecha-Ledesma, L y Angulo-Arizala, J. 2015. Crecimiento y desarrollo de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en condiciones de trópico alto. (en línea). In 3° Congreso Nacional de Producciones Silvopastoriles. Colombia, s.e. p. 53-57. 3° congreso nacional de sistemas silvopastoriles. VIII congreso internacional sistemas agroforestales (infor.cl) (consultado 1 May. 2021).
- Gallego-Castro, L.A., Mahecha-Ledesma, L y Angulo-Arizala, J. 2016. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. (en línea). *Agron.Mesoam.* 28(1):213. Doi:10.15517/am.v28i1.21671
- Gallego-Castro, L.A., Mahecha-Ledesma, L y Angulo-Arizala, J. 2017. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con *Tithonia diversifolia* (en línea). *Agron.Mesoam.* 28(2):357. doi:10.15517/ma.v28i2.25945
- González, D., Ruiz, T.E y Díaz, H. 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. Redalyc. Sección del tallo y forma de plantación: su efecto en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia* (consultado 1 May. 2021).
- González-Castillo, J., Hahn von-Hessberg, C y Narváez-Solarte, W. 2014. Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Astreaceae) en la alimentación animal. *Boletín Científico Museo de Historia Natural.* 18(2):45-58.
- Gualberto, R., Souza Júnior, O., Costa, RN., Braccialli, DC y Gaion, L. 2011. Influência do espaçamento e do estágio de desenvolvimento da planta na produção de biomassa e valor nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) gray. *Nucleus* 8(1):241-256. <https://doi.org/10.3738/nucleus.v8i1.362>

- Holguín, V., Ortiz, S., Velasco, N y Mora, J. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Helms.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca. *Red MedVetZoot.* 62(2):57-72.[doi.org/10.15446/rfmvz.v62n2.51995](https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n2.51995)
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). 2019. *Encuesta Nacional Agropecuaria 2017: Resultados generales de las actividades ganaderas vacuna y porcina*.<https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/reena2017.pdf>. (consultado 22 oct. 2020)
- La, OO., González, H., Orozco, A., Castillo, Y., Ruiz, O., Estrada, A., Ríos, F y Gutiérrez, E. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal in situ y digestibilidad in vitro de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42(1):47-54.[8.pdf \(unam.mx\)](https://www.unam.mx) (consultado 1 jun 2021)
- Lezcano, Y., Soca, M., Ojeda, F., Roque, E., Fontes, D., Montejó, IL., Santana, H., Martínez, J y Cubillas, N. 2012. Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y Forrajes* 35(3):275-282.3 Artículo Yohanka Lezcano (I) ([sld.cu](https://sld.cu)) (consultado 01 jun 2021).
- López-Hidalgo, HB., Martínez-González, JC., Salcán-Guamán, HC., Gusqui-Vilema, LW., Balseca-Guzmán, DG y Cienfuegos-Rivas, EG. 2017. Crecimiento de *Centrosema pubescens* Benth bajo fertilización nitrogenada más azufre en Ecuador. *Ciencia UAT* 12(1):84-95.[2007-7858-cuat-12-01-00084.pdf \(scielo.org.mx\)](https://scielo.org.mx/2007-7858-cuat-12-01-00084.pdf) (consultado 01 jun 2021).
- Medina, MG., García, DE., González, ME. Y Cova, LJ. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical* 27(2):121-134.[medina\\_m.pdf \(inia.gob.ve\)](https://inia.gob.ve/medina_m.pdf) (consultado 01 jun 2021).
- Mendes-Reis, M., De Paiva-Ferreira, G., Roncha, L., Moura-Junior, R., Tuffi-Santos, L., Arruda-Sampaio, R., Goncalves-Oliviera, F y Cruz, L. 2015. Crecimiento de *Tithonia diversifolia* submetida a doses de biofertilizante bovino na presença e ausência de irrigação. In Congreso Nacional de Irrigação e Drenagem. São Cristóvão, Brasil, s.e. p. 1405-1410.[236.pdf \(abid.org.br\)](https://abid.org.br/236.pdf) (consultado 01 jun 2021).
- Navas Panadero, A., y Montaña, V. (2019). Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 721-732. [doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15066](https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.15066)



- Pérez, A., Montejo, I., Iglecias, J., López, O., Martín, D., García, D., Milian, I. y Hernández, A. 2009. *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray. *Pastos y Forrajes* 32(1):1-5. Artículo APérez (sld.cu) (consultado 01 jun 2021).
- Pezo, D.A. 2018. Uso eficiente de fertilizantes en pasturas. Danilo A. Pezo y Francisco J. García. 1 ed. Turrialba, C.R: CATIE. Serie técnica. Boletín técnico (98)56. *Uso eficiente de fertilizantes en pasturas.pdf* (catie.ac.cr) (consultado 01 jun 2021).
- Poorter, H., Van de Vijver, C., Boot, RGA y Lambers, H. 1995. Growth and carbon economy of a fast-growing and a slow-growing grass species as dependent on nitrate supply. *Plant and Soil* 171(2):217-227. <https://www.jstor.org/stable/42947434> (consultado 01 jun 2021).
- Poorter, H. 2002. Plant Growth and Carbon Economy (en línea). *Encyclopedia of Life Sciences*. Nature Publishing Group. 1-6. [p.doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01069.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01069.x)
- Rasband, W.S. 2016. ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. [imagej.nih.gov/ij/download/](https://imagej.nih.gov/ij/download/) (consultado 22 oct. 2020).
- Rojas-Bourrillon, A. y Campos-Granados, C. 2015. Hacia sistemas más intensivos en la producción de carne bovina: pastoreo con suplementación, semiestabulación y estabulación. *UTN informa* 74(1):14-21.
- Ruiz, TE., Febles, G., Torres, V., González, J., Achang, G., Sarduy, L y Díaz, H. 2010. Evaluación de materiales recolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la zona centro-occidental de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44(3):291-296. Páginas 291-296 RCCA (unam.mx) (consultado 01 jun 2021).
- Sotomayor-Alvarez, R., Chura-Chuquija, J., Calderon-Mendoza, C., Sevilla-Panizo, R y Sevillano, R. 2017. Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra. *Anales Científicos* 78(2):232-240. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1061>
- Warnock, R., Valenzuela, J., Trujillo, A., Madriz, P y Gutiérrez, M. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de Caraota. *Agronomía Tropical* 56(1):21-42. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota<sup>1</sup> (scielo.org) (consultado 01 jun 2021).

Zavala, Y., Rodríguez, J. y Cerrato, M. 2007. Concentración de carbono y nitrógeno a seis frecuencias de poda de *Tithonia diversifolia* y *Morus alba*. *Tierra Tropical* 3(2):149-159.