

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

Absorción de nutrimentos a tres niveles de fertilización nitrogenada y a tres edades de corte del botón de oro (*Tithonia diversifolia*).

Maikol Astua Ureña

Tesis presentada para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

HOJA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

_____	Director de tesis
M.Sc. Augusto Rojas Bourrillon	
_____	Miembro del tribunal
M.Sc. Gilberto Cabalceta Aguilar	
_____	Miembro del tribunal
Lic. Carlos Campos Granados	
_____	Miembro del tribunal
M.Sc. Luis Pineda Cordero	
_____	Director de Escuela
M.Sc. Rodolfo WingChing Jones	
_____	Sustentante
Maikol Astua Ureña	

DEDICATORIA

A mis padres, mi abuela y mi estimada tía. A ustedes les debo este logro.

AGRADECIMIENTOS

Al personal tanto administrativo (en especial a Agueda Serrano) como docente de la Escuela de Zootecnia por haberme guiado en esta carrera tan hermosa.

A mi novia y colega Mónica por siempre apoyarme y motivarme a seguir el proceso de formación.

A la familia Cortés-Muñoz por haberme abierto las puertas de su finca y casa para realizar este proyecto.

Al profesor y amigo, Carlos Campos, por ser incondicional en su apoyo y a Don Augusto Rojas que siempre estuvo para guiarme al igual que Don Gilberto Cabalceta.

A mis colegas, Keylor, André, Cava, Erick, Marco. Muchas gracias por venirse a sudar la camisa sin esperar nada a cambio.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
PORTADA	i
HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. <i>Tithonia diversifolia</i>	3
2.1.1. Adaptabilidad.....	3
2.1.2. Propagación	3
2.1.3. Rendimiento	4
2.1.4. Composición nutricional.....	5
2.1.5. Usos en producción animal.....	7
2.2. Sistema suelo	8
2.3. Fertilización.....	9
2.4. Curvas de crecimiento.....	12

2.5. Curvas de absorción.....	13
3. OBJETIVOS.....	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos específicos.....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS	19
4.1. Procedimiento general.....	19
4.2. Ubicación del experimento	19
4.3. Pluviometría.....	19
4.4. Cultivo	20
4.5. Análisis de suelo.....	21
4.6. Tratamientos evaluados	23
4.7. Aplicación de fertilizante nitrogenado	23
4.8. Variables evaluadas	24
4.8.1. Altura de la planta	24
4.8.2. Relación hoja:tallo.....	24
4.8.3. Área foliar	24
4.8.4. Biomasa	24
4.8.5. Materia seca (MS).....	24
4.8.6. Concentración de nutrimentos a nivel foliar	25
4.8.7. Nivel de extracción de nutrimentos	25
4.9. Descripción del análisis estadístico	25

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
5.1. Contenido de MS.....	27
5.2. Relación hoja:tallo	27
5.3. Altura de la planta.....	29
5.4. Área foliar	29
5.5. Biomasa	31
5.6. Índices de crecimiento.....	33
5.7. Eficiencia de fertilización	34
5.8. Correlaciones entre variables.....	36
5.9. Contenido de nutrientes a nivel foliar.....	38
5.10. Extracción de nutrimentos.....	45
5.10.1. Macronutrientes	45
5.10.2. Micronutrientes.....	51
5.11. Plan de fertilización	55
5.11.1. Dosis.....	56
5.11.2. Fuentes de fertilizantes.....	59
5.11.3. Época de aplicación	59
5.11.4. Estructuración de la fertilización	60
6. CONCLUSIONES.....	64
7. RECOMENDACIONES	65
8. LITERATURA CITADA.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Rendimientos del botón de oro, en biomasa seca por hectárea por año, según la edad de corte.....	5
2	Composición bromatológica del botón de oro. Media, mínimos y máximos.....	6
3	Niveles de inclusión y sus respectivos modos de empleo del botón de oro, según especie productiva.....	7
4	Causalidad de las diferentes pérdidas de eficiencia de aplicaciones de macronutrientes.....	10
5	Composición química promedio y rangos en los purines de lecherías de Chile.....	11
6	Niveles de nutrientes esenciales para un normal crecimiento en muchas plantas y su forma química de absorción.....	14
7	Clasificación de nutrientes minerales en plantas de acuerdo con su forma bioquímica.....	15
8	Régimen pluviométrico presentado en el período experimental de septiembre 2018-abril 2019.....	20
9	Precipitación acumulada y desviaciones estándar durante el período experimental según tratamiento.....	20
10	Parámetros analizados en la muestra de suelo proporcionada al laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR).....	21
11	Parámetros analizados en la muestra de suelo proporcionada al laboratorio del CIA-UCR.....	22

12	Descripción de los tratamientos evaluados según los factores de edad y nivel de fertilización.....	23
13	Media y desviación estándar del contenido de materia seca de la <i>Tithonia diversifolia</i> según edades de cosecha.....	27
14	Medias de la relación hoja:tallo de la <i>Tithonia diversifolia</i> según edades de cosecha.....	28
15	Respuesta de las variables morfológicas de la <i>Tithonia diversifolia</i> según el tratamiento evaluado.....	31
16	Eficiencia de producción de biomasa (kg MS kg N aplicado) de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha.....	35
17	Coeficiente de correlación de Pearson para la variables y factores estudiados.....	37
18	Concentración foliar de macronutrientes de la <i>Tithonia diversifolia</i> según los distintos tratamientos evaluados.....	39
19	Concentración foliar de micronutrientes de la <i>Tithonia diversifolia</i> según los distintos tratamientos evaluados.....	43
20	Extracción de nutrientes de la <i>Tithonia diversifolia</i> según edades de corte y un nivel de fertilización de 100 kg N/ha	56
21	Extracciones de pastos de piso utilizados en la ganadería de Costa Rica..	57
22	Relaciones de las bases catiónicas en el suelo de la finca La Florita.....	58
23	Plan de fertilización sugerido para la <i>Tithonia diversifolia</i> en las condiciones del ensayo.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Área foliar de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	30
2	Disponibilidad de producción de biomasa de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	32
3	Comportamiento del Índice de crecimiento absoluto (A) y del Índice de crecimiento relativo (B) de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	33
4	Eficiencia de extracción de N de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	35
5	Biomasa de la <i>Tithonia diversifolia</i> a 40 días de rebrote según disponibilidad pluvial.....	38
6	Extracción total de N (A), P (B) y K (C) de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	46
7	Extracción total de Ca (A), Mg (B) y S (C) de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	50
8	Extracción total de Fe (A), Mn (B) y Zn (C) de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	53
9	Extracción total de Cu (A) y B (B) de la <i>Tithonia diversifolia</i> a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.....	54
10	Promedio del régimen pluvial del año 2013-2018 de la finca La Florita expresado en mm/mes.....	60

RESUMEN

La investigación se basó en una evaluación de variables morfológicas y de los niveles de extracción de nutrientes de la *T. diversifolia*, al someterse a dosis crecientes de fertilización nitrogenada (0, 100 y 200 kg N/ha/año) y a tres edades de cosecha (20, 40 y 60 días). El experimento se llevó a cabo en el Pacífico Central, a una altura de 15 msnm y en un suelo del orden inceptisol, el período evaluado comprendió tanto época lluviosa como seca. El diseño experimental correspondió a un factorial 3x3, con un total de 36 parcelas de 4 m² distribuidas en 4 bloques. Las variables, relación hoja: tallo y % de materia seca se vieron afectadas por la edad de cosecha, mientras que, las variables altura de la planta, área foliar y biomasa fueron afectadas por la interacción de la edad con el nivel de fertilización nitrogenada. A los 40 días de edad se encontraron producciones de biomasa de 4,9, 8,9 y 9,9 t MS/ha/año en los niveles de fertilización de 0, 100 y 200 kg N/ha/año, respectivamente, mientras que los valores de altura correspondieron a 43, 57 y 55 cm para los parámetros de edad y fertilización mencionados anteriormente, respectivamente, al igual, el área foliar fue de 64, 74 y 85 cm², respectivamente. Los macronutrientes de mayor concentración a nivel foliar correspondieron al N, K y Ca en orden ascendente, en cuanto a los micronutrientes este orden le corresponde al Fe y Mn sin importar la edad o nivel de fertilización analizado. La extracción total de nutrientes (kg/ha/año) a una edad de 40 días por parte del botón de oro fue de 206 N, 27 P, 213 K, 168 Ca, 57 Mg, 14 S, 1,6 Mn y con una fertilización de 100 kg N/ha/año. Concluyendo que el botón de oro (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; sin embargo, la eficiencia de dicha fertilización decae después de los 100 kg de N/ha/año. Además, la planta presenta altos requerimientos de Ca y Mn.

1. INTRODUCCIÓN

Las características del suelo influyen en la producción de los cultivos por unidad de área. Los factores que intervienen se categorizan en químicos, físicos, morfológicos, biológicos y climáticos, los cuales determinan la disponibilidad de nutrientes en el sistema (Navarrete 2005).

Las plantas requieren de 13 nutrientes esenciales, que son suplidos por el suelo y fertilizantes orgánicos e inorgánicos (Silva y Uchida 2000). El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes que limitan la productividad en forrajes (Salas y Cabalceta 2010). La respuesta óptima al N no se obtiene sin cantidades adecuadas de P, potasio (K), y otros nutrimentos como el C, H y O aportados por el agua y aire (Mathews et al. 2004).

La producción de forraje, al igual que todo cultivo, conlleva a una extracción de nutrimentos del suelo (García et al. 2002). A pesar de esto, en las fincas se comete el error de asumir que dichos sistemas requieren bajos insumos de fertilizantes para restablecer lo extraído, por ende, la pérdida de nutrimentos provoca un desequilibrio en el tiempo, con la degradación de las reservas de los mismos en el suelo (Restelatto et al. 2015).

La absorción de nutrimentos por parte de los cultivos se utiliza como herramienta para calcular los requerimientos y el consumo total de nutrientes que efectúa un cultivo para completar el ciclo productivo. Las curvas de absorción permiten conocer la acumulación de nutrimentos en los diferentes tejidos durante el ciclo y determinar los momentos de mayor absorción. El diseño del plan de fertilización con base en la absorción, permite establecer un programa gradual a lo largo del ciclo y maximizar la eficiencia del fertilizante en el tiempo (Bertsch 2003). La absorción efectiva de nutrimentos varía según el tipo de planta, por ejemplo, las poáceas tienen afinidad con el nitrógeno y las fabáceas prefieren fósforo, potasio, calcio y magnesio (Cerdas y Vallejos 2012).

Los factores que afectan la curva de absorción de un cultivo se dividen en externos e internos. En los internos se pueden mencionar el potencial genético de la planta, que explica la importancia de generar una curva para cada cultivar; la edad de la planta, o estado fenológico de la misma. Los factores externos están relacionados con el ambiente donde se desarrolla el cultivo; como el suelo, la temperatura, humedad, brillo solar entre otros (Pacheco 2013).

En Costa Rica, por sus condiciones tropicales, la producción bovina está basada en la utilización de forrajes (Rojas-Bourrillon y Campos-Granados 2015). El botón de oro (*Tithonia diversifolia*), es una planta forrajera de alto potencial en la producción animal (Mejía-Díaz et al. 2016). El potencial de este arbusto forrajero se basa en la producción de biomasa de alta calidad nutricional (Savón et al. 2008); principalmente niveles de proteína de 14-28% y una degradabilidad ruminal que oscila entre 50-90% (Medina et al. 2009).

El desarrollo de las curvas de absorción de nutrimentos en forrajes es el primer paso para entender la relación entre los nutrimentos presentes en el suelo y en la parte foliar del cultivo, fortaleciendo el conocimiento sobre la nutrición de este recurso tan importante en la ganadería (Rivera 2008).

En Costa Rica ha venido en crecimiento el uso del botón de oro para combatir los costos de producción y mitigar los efectos del cambio climático, sin embargo, hay escasez de trabajos sobre la nutrición del cultivo. Por tal razón, este trabajo tiene como objetivo determinar la curva de absorción de nutrimentos de la *T. diversifolia*, la extracción total de nutrimentos del forraje y el efecto en los niveles de extracción del cultivo, a partir de la aplicación de tres planes de fertilización durante la etapa productiva.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *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).

2.1.1 Adaptabilidad

El botón de oro se considera una planta elástica, por su gran potencial de adaptabilidad, debido a que se puede establecer desde los 0 a 2700 msnm, en suelos de baja o alta fertilidad, y con precipitaciones que oscilan entre 600 a 6000 mm/año (Medina et al. 2009). Esta planta es tolerante a la sequía, y soporta la cosecha a nivel de suelo con una recuperación rápida (Pérez et al. 2009; Medina et al. 2009).

2.1.2 Propagación

La propagación de la *T. diversifolia* se puede realizar por medio de la semilla sexual o asexual, siendo este último el método más común. En un estudio comparativo sobre los métodos de propagación, se concluye que no hay diferencias significativas en producción de biomasa y en el porcentaje de sobrevivencia de la planta, obteniendo valores cercanos al 90% de sobrevivencia (Gallego-Castro et al. 2015). Sin embargo, Romero et al. (2014) concluyeron que el porcentaje de sobrevivencia de la planta es mayor cuando se usa semilla sexual que asexual, con valores de 90-95 % y 60-70 %, respectivamente.

La semilla sexual presenta una baja germinación en esta planta, en viveros se han reportado valores entre 40-50% (Rodríguez et al. 2019). Además, se debe tomar en cuenta que la *T. diversifolia* produce de un 15,26 % del fruto en vano y a la vez entre un 50-60 % de la semilla es inviable, considerando esto se tiene que solamente un 18-22 % del total de semilla producida tiene la capacidad de germinar (Saavedra-Porras 2016).

La semilla asexual se obtiene del primer tercio del tallo de la planta (Pérez et al. 2009), sin embargo, se debe considerar que el uso de semilla asexual conlleva algunos inconvenientes, por ejemplo, se debe transportar gran volumen de material vegetativo y se da una pérdida de viabilidad como consecuencia del tiempo transcurrido entre el corte y la siembra de las estacas (Romero et al. 2014). Las estacas deben tener dimensiones de 30-40 cm de longitud, 1 a 4,9 cm de diámetro y 5 yemas, para así generar mejores indicadores morfoestructurales (Medina et al. 2009).

Los marcos de siembra usados para el establecimiento de la *T. diversifolia* varían entre 0,5 m x 1 m, 0,75 m x 1 m y 1 m x 1 m. En una comparación de marcos de siembra, la densidad de 10.000 plantas/ha presentó mayor porcentaje de brotes, número de ramas y producción de materia seca (MS), respecto a densidades de 13.330 y 20.000 plantas/ha, con resultados de brotación de 92, 88 y 65 %, y un número de ramas totales de 20,6, 10,0 y 9,8 respectivamente (Castillo-Mestre et al. 2016).

2.1.3 Rendimiento

La cosecha del botón de oro se debe realizar a una altura entre 10-15 cm sobre el nivel del suelo, para que no se afecte la recuperación del cultivo (Ruiz et al. 2012), y mantener los rendimientos. En el Cuadro 1 se reportan los rendimientos del botón de oro en distintos ensayos.

Cuadro 1. Rendimientos del botón de oro, en biomasa seca por hectárea por año, según la edad de corte.

Edad de corte (días)	Biomasa (t MS/ha/año)	País	Referencia
90	13,5	Cuba	(Castillo-Mestre et al. 2016)
60	9,2	Cuba	(Ruiz et al. 2012)
103	9,5	Brasil	(Gualberto et al. 2011)
55	20,7	Colombia	(Gallego-Castro et al. 2016)
42	4,0	Costa Rica	(Zavala et al. 2007)
70	10,7	Costa Rica	(Zavala et al. 2007)

En el Cuadro 1, se puede observar variabilidad en los rendimientos, probablemente debido a los marcos de siembra, altura de corte, parte de la plata cosechada y la madurez del cultivo. En los marcos de siembra, investigaciones anteriores mencionan que hay un aumento de biomasa, cuando se utilizan densidades mayores a 10.000 plantas/ha, sin embargo, hay discrepancia sobre este parámetro (Castillo-Mestre et al. 2016). Según (Arronis-Díaz 2015) densidades superiores a 12.500 plantas/ha deprimen el rendimiento.

2.1.4 Composición nutricional

La composición nutricional en los forrajes es de suma importancia, debido a que, a partir de las concentraciones de nutrientes en la materia seca y la digestibilidad de estos, se incide directamente en los rendimientos de los animales. En el Cuadro 2, se observa la composición nutricional promedio y rangos reportados en la literatura.

Cuadro 2. Composición bromatológica (%) del botón de oro (*T. diversifolia*). Media, mínimos y máximos.

Nutriente	Media	Min	Máx	Adaptado de:
Materia seca	19,7	12,9	24,0	Lezcano et al. 2012; Gualberto et al. 2011 y Gallego-Castro et al. 2014.
Proteína cruda	19,0	12,0	24,0	Medina et al. 2009; Gualberto et al. 2011 y Lezcano et al. 2012.
FDN	43,7	33,0	53,8	Gallego-Castro et al. 2014; Gallego-Castro et al. 2016 y Medina et al. 2009.
FDA	36,4	27,0	48,0	Medina et al. 2009; Gallego-Castro et al. 2016 y Mejía-Díaz et al. 2016.
CNE	9,0	8,5	12,0	Gallego-Castro et al. 2016 y Medina et al. 2009.
Almidón	ND	5,0	6,0	Medina et al. 2009.
Calcio	ND	2,9	3,2	Lezcano et al. 2012 y Gallego-Castro et al. 2016.
Fósforo	ND	0,3	0,4	Gallego-Castro et al. 2016 y Medina et al. 2009.
DIVFDN	25,7	ND	ND	Campos-Granados 2018.
TND	45,7	ND	ND	Campos-Granados 2018.

FDN= Fibra detergente neutro, FDA= Fibra detergente ácida, CNE= Carbohidratos no estructurales, DIVFDN= Digestibilidad in vitro de la FDN, TND= Total de nutrientes digestibles, ND= No disponible

2.1.5 Usos en producción animal

La *T. 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 %; Arronis-Díaz (2015) ha reportado datos de 85 % en nuestro país. Sin embargo, también se tiene experiencia en el uso de esta planta en alimentación de monogástricos. En el Cuadro 3, se puede apreciar un resumen de los diferentes usos en la alimentación animal.

Cuadro 3. Niveles de inclusión y sus respectivos modos de empleo del botón de oro, según especie productiva.

Especie	Inclusión (%)	Modo de empleo
Cabras	30	Forraje fresco Dietas integrales cabritos
Ovejas	5-20 20-50	Harina de hojas Forraje fresco
Búfalos	ND	Silvopastoril
Ternereros	30	Dietas integrales
Vacas	20-35	Pastoreo, suplemento forrajero
Gallinas	15	Harina de hojas Fuente de carotenoides
Cerdos	20	Harina de hojas
Conejos	30	Follaje fresco mezclado con alimento

ND= No disponible

Fuente: Rodríguez (2017).

En un estudio en vacas lecheras en pastoreo y suplementadas con 3 kg de MS de concentrado, se realizó una sustitución del concentrado en un 25 y 35 % por botón de oro y se concluyó que no hay diferencias significativas en producción de leche y calidad de la misma (Mahecha et al. 2007), en otro estudio con una inclusión de 25 % de harina de botón de oro lograron el mejor costo:beneficio en cuanto a producción y calidad de leche (Gallego Castro et al. 2017).

Por otro lado, la inclusión de botón de oro en un 20, 30 y 50 % del consumo total de materia seca, mejoró el consumo y la digestibilidad aparente de la materia seca en ovejas con una dieta a base de pasto Taiwán (Ramírez-Rivera et al. 2010).

2.2 Sistema suelo

El suelo, la planta y el clima son los factores de un sistema de producción agrícola, por lo tanto, lo que determina la producción es la mejor interacción que se logre entre estos tres, mediante la intervención del ser humano. Los manejos a nivel de planta son: mejoramiento genético, escogencia del cultivar, marcos de siembra, entre otros; a nivel de clima se debe conocer el comportamiento de las lluvias, temperatura y humedad, uso de sombra, rompevientos, y a nivel de suelo se debe tomar en cuenta la preparación de terreno, utilización de riego, drenajes, aplicación de fertilizantes y enmiendas (Bertsch 1998).

El suelo participa en el sistema a través de tres funciones principales: el suplemento de nutrientes, el sostén de la planta y el reciclaje de nutrientes. Por ende, es importante conocer las características del suelo presente en el sistema. Estas características según Bertsch (1998) son:

- ❖ La profundidad, la cual representa los centímetros del ambiente disponible para la exploración de la planta.
- ❖ La textura, que puede ser arcillosa, limosa, arenosa o sus combinaciones, lo cual, se relaciona con la capacidad de retener nutrimentos y el movimiento del agua.
- ❖ El color, que es un indicador especialmente de la aireación del suelo por la susceptibilidad del hierro (Fe) a reacciones de óxido reducción (REDOX). Las condiciones anaeróbicas y de mal drenaje, generalmente afectan los cultivos, estas condiciones generan coloraciones grisáceas.

- ❖ Estructura, esta característica asociada con el espacio poroso y la organización de los materiales sólidos, por lo tanto, indica el comportamiento que va a tener el agua y el aire.

Desde el punto de vista de la fertilidad de suelos, la solución del suelo es el eje central en la dinámica nutricional del sistema. Allí es donde las plantas principalmente absorben nutrimentos. Además, los procesos que conducen a disponibilidad o no de nutrimentos involucran a la solución del suelo. El aumento de nutrientes en la solución del suelo se dan por medio de la solubilización de minerales primarios, adición de fertilizantes, mineralización de la materia orgánica, y desadsorción del enjambre iónico, mientras que la disminución se da por absorción de las plantas, lixiviación, inmovilización causada por los microorganismos, fijación y adsorción del enjambre iónico (Bertsch 1998).

2.3 Fertilización

La fertilización es una estrategia para incorporar nutrimentos al sistema suelo, con el objetivo de lograr mejores rendimientos en los cultivos. Este manejo se puede realizar con fuentes orgánicas y/o inorgánicas, y la incorporación de estos nutrientes se realiza directamente al suelo o a nivel foliar.

El manejo de la fertilización debe tomar en cuenta las cantidades y fuentes a utilizar. Esto se define en el plan de fertilización que, a su vez toma en cuenta aspectos como la época del año, el método, y la rentabilidad de la aplicación (Bertsch 1998). Según Castillo González et al. (2011), la elaboración de un plan de fertilización se debe basar en la demanda de nutrientes en los diferentes estados fenológicos del cultivo. La demanda de nutrientes está dada por la producción de biomasa y las concentraciones totales de los nutrientes en los diferentes tejidos del cultivo.

Es esencial conocer el nivel de nutrimentos en el suelo al elaborar planes de fertilización, debido a que, si la demanda de nutrientes es mayor a la suministrada por el suelo, y estos no se reintegran, la consecuencia será una pérdida de la fertilidad del suelo. Por ende, aparte de la demanda de nutrientes, se debe tomar en cuenta el suministro del suelo y el aprovechamiento del fertilizante por parte de la planta (Palma-López et al. 2002).

El N, P y K, son los nutrientes de mayor demanda por parte de las plantas. Debido a esto, se han estudiado los criterios que afectan su aprovechamiento, que puede fluctuar entre 50-70 % (N), 30-50 % (P) y 60-80 % (K). Estos criterios son: propiedades del nutriente,

características del suelo, características de la fuente del fertilizante y condiciones climáticas (Bertsch 1998). En el Cuadro 4, se resumen las causas de pérdida de eficiencia de aplicaciones de macronutrientes.

Cuadro 4. Causalidad de las diferentes pérdidas de eficiencia de aplicaciones de macronutrientes.

Nutriente	Pérdidas de eficiencia	Causa
Fósforo	Fijación	Aplicación al voleo, muy fraccionado, suelos volcánicos, suelos ácidos, si se aplica en mezclas de enmiendas calcáreas.
	Inmovilización	Residuos orgánicos desbalanceados, cuando se favorece la actividad microbiana, suelos pobres en P disponible.
Potasio	Lixiviación	Dosis altas, suelos de textura gruesa, suelos ácidos y de baja CICE, zonas de frecuente y continua precipitación, cuando se utilizan altas dosis amoniales.
	Fijación	En suelos ricos en arcillas 2:1.
Nitrógeno	Lixiviación	Cuando se aplica como NO ₃ , altas dosis sin fraccionar, suelos de baja CICE, suelos con buen drenaje.
	Volatilización	Fuentes amoniales o urea, suelos de baja CICE, suelos secos.
	Fijación	Como NH ₄ , fuertes dosis amoniales, arcillas 2:1.
	Inmovilización	Residuos orgánicos desbalanceados en C/N altas, cuando se favorece la actividad microbiana (encalado), suelos pobres en N disponible.

CICE= Capacidad de intercambio catiónico efectiva, C/N= Relación carbono/nitrógeno

Fuente: Bertsch (1998).

En las fincas lecheras es común el uso de efluentes para la fertilización, los cuales se conocen como purines, estos corresponden a una mezcla entre excretas, orina y agua que provienen del lavado de las salas de ordeño y espera. Esta mezcla es recolectada en pozos, se separa la sección más gruesa y esta posteriormente es aplicada a los forrajes (Salas-Camacho y Hernández-Salas 2008), se espera que un 25 % del purín corresponde a heces y orina (Salazar et al. 2003).

Al fertilizar con purines se debe tomar en cuenta, el balance de nutrimentos, tanto macro, micro y metales pesados para definir los volúmenes a utilizar, esto con el fin de obtener el máximo crecimiento de los cultivos, pero sin un efecto negativo a nivel ambiental, al igual que se debe tomar en cuenta el tema de legislación (Castells 2012).

La composición de los purines es muy variada, ya que va de la mano de la dieta de los animales, al igual que el contenido de materia seca depende del manejo del tanque y las precipitaciones de la zona (Demagnet et al. 1999). Algunas investigaciones han generado (Salazar-Sperberg 2012) valores de composición promedio de purines (Cuadro 5).

Cuadro 5. Composición química promedio de los purines y su rango en lecherías de Chile.

Parámetro	Unidad	Media	Mínimo	Máximo
Materia seca	(%)	3,9	0,2	13,7
Nitrógeno total	(kg N/1000L)	2,0	0,23	5,2
Nitrógeno amoniacal	(kg N/1000L)	0,6	0,05	2,1
Fósforo	(kg P ₂ O ₅ /1000L)	0,7	0,04	2,2
Potasio	(kg K ₂ O/1000L)	1,3	0,13	4,8
Calcio	(Kg CaO/1000L)	0,9	0,03	2,8
Magnesio	(kg MgO/1000L)	0,4	0,02	1,5

Fuente: Salazar-Sperberg (2012).

Otros minerales como el Zn, Fe, B y Mn presentan concentraciones de 2, 13, 1 y 1 mg/L, respectivamente. En un estudio realizado en una finca lechera de Costa Rica, se concluyó que al aplicar un volumen de 3.300.836 L de purín por año se lograba un aporte de 320 kg N, 226 kg P₂O₅ y 792,2 kg K₂O (Arguedas-Sanchez 2014), por ende, se puede observar que es una fuente de buen aporte de K, lo cual, coincide con lo mencionado por Demanet et al. (1999).

Por otro lado, Arce-Cordero (2008) menciona valores de 0,06, 0,01, 0,02, 0,01, 0,03, 0,002 % de N, P, Ca, Mg, K y S, respectivamente, estos valores provienen de una finca de Costa Rica, a pesar de ello, se encuentra en el rango presentado en el Cuadro 5, pero difieren del promedio. Al igual, en dicha investigación se indican valores de micronutrientes entre ellos resalta el Zn con 2,9 ppm, lo cual indica que el purín constituye una fuente importante para retribuir estos nutrientes que generalmente no se aplican en el manejo de forrajes.

2.4 Curvas de crecimiento

Se entiende como crecimiento el aumento irreversible en tamaño de los órganos, el cual implica una serie de cambios y reacciones bioquímicas a nivel fisiológico (Taiz et al. 2015). Este crecimiento en cultivos generalmente se determina mediante las siguientes medidas directas: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, masa seca y masa fresca. De igual manera, se pueden usar medidas indirectas, entre las cuales se pueden mencionar: la tasa de asimilación neta, la tasa de crecimiento del cultivo, y la tasa relativa de crecimiento (Barraza et al. 2004).

La distribución de la materia seca en la planta permite generar patrones de crecimiento (Rivera 2008). El incremento inicial de la biomasa seca acumulada presenta una tasa exponencial, seguidamente se vuelve lineal y finalmente la tasa decrece, hasta alcanzar un nivel máximo. Por ende, el crecimiento de la planta asemeja una curva sigmoidea en cultivos anuales (Di Benedetto y Tognetti 2016).

La elaboración de curvas de crecimiento permite notar cambios de acumulación de materia seca de la planta a través del tiempo. Este crecimiento se puede analizar por medio de índices, por ejemplo, el Índice de Crecimiento Relativo (ICR), que indica el aumento de peso seco por unidad de peso seco presente por unidad de tiempo, el Índice de Crecimiento Absoluto (ICA), que mide el incremento en peso seco por unidad de tiempo, y la Razón de

Peso Foliar (RPF), la cual muestra el cambio en la proporción del peso seco de las hojas respecto al peso seco total de la planta (Molina et al. 1993, Dambreville et al. 2015).

El ICR varía en las distintas especies vegetales y está sujeta a la capacidad de la planta para realizar fotosíntesis con los recursos disponibles, la cual se ve afectada por condiciones del medio ambiente y en caso que no sea el óptimo para para la planta ese efecto de estrés conlleva a una depresión de la tasa fotosintética. Otro factor es a nivel de suelo, por ejemplo, una baja disponibilidad de N provoca una limitante para dicho mecanismo (Poorter 2002).

2.5 Curvas de absorción

Las curvas de absorción de nutrientes, representan gráficamente la cantidad específica de cada nutriente que la planta extrae del suelo durante su ciclo (Rivera 2008). Estas curvas se construyen relacionando el peso seco de la planta entera o sus partes, con la concentración de cada nutrimento en varios estados del desarrollo (Bertsch 2003). Estas curvas también permiten conocer los niveles de extracción en los diferentes órganos de la planta, y las épocas de mayor absorción de cada nutriente (Molina et al. 1993).

La extracción de nutrientes depende de factores tanto internos como externos. En los internos se pueden mencionar el potencial genético de la planta, la edad de la planta o estado fenológico. Los factores externos están relacionados con el ambiente donde se desarrolla el cultivo, como el suelo, la temperatura, humedad relativa y brillo solar (Pacheco 2013). Dichos factores se asocian a la prefloración, la floración, y la fructificación de un cultivo, y en conjunto permiten visualizar la importancia de relacionar las curvas de absorción con las curvas de crecimiento, con el fin de relacionar los patrones del crecimiento y los requerimientos nutricionales (Bertsch 2003).

La comparación entre la concentración de nutrientes en el follaje y los rangos reportados en la literatura y considerados como óptimos permite definir si existen deficiencias o excesos en la planta. Este nivel es muy dependiente de la especie de planta, en la literatura se pueden encontrar el rango de concentración de nutrientes óptima para algunas especies forrajeras (gramíneas y leguminosas) (IPNI 2003, Cabalceta 1999). Por otro lado, el suministro de iones a las raíces involucra factores como la naturaleza de los nutrimentos, agua disponible, la demanda de las raíces, disponibilidad de estos en la solución del suelo (Villalobos 2001). En el Cuadro 6 se muestra la concentración mínima de nutrientes presentes en el follaje y en el cual la mayoría de las plantas no ve afectado su crecimiento.

Cuadro 6. Niveles de nutrientes esenciales para un normal crecimiento en muchas plantas y la forma química de absorción.

Nutriente mineral	Concentración	Forma de absorción
	% en la materia seca	
Nitrógeno	1,5	NH^{+4} , NO^{-3}
Potasio	1,0	K^{+}
Calcio	0,5	Ca^{+2}
Magnesio	0,2	Mg^{+2}
Fósforo	0,2	$\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, HPO_4^{-2}
Azufre	0,1	SO_4^{-2}
	mg/kg MS	
Hierro	100	Fe^{+2}
Boro	20	$\text{H}_2\text{BO}_3^{-}$, $\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$
Manganeso	50	Mn^{+2}
Zinc	20	Zn^{+2}
Cobre	6	Cu^{+2}
Molibdeno	0,1	MoO_4^{-2}

Fuente: Epstein (1972, 1999); Bertsch (1998).

Los nutrientes utilizados por las plantas para su desarrollo suelen clasificarse en macro y micronutrientes, esto debido al nivel de extracción de los mismos, sin embargo, se deja de lado el rol a nivel fisiológico, lo cual puede ser contraproducente. Por esta razón, algunos investigadores describen la clasificación de nutrientes por medio de grupos según su función

principal a nivel fisiológico (Taiz et al. 2015). En el Cuadro 7 se puede observar dicha clasificación.

Cuadro 7. Clasificación de nutrientes minerales en plantas de acuerdo con su función bioquímica.

Nutriente mineral	Funciones
Grupo 1	Nutrientes que son parte de compuestos de carbono.
N	Constituyente de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, hexosaminas, entre otras.
S	Componente de cisteína, cistina, metionina. Constituyente de ácido lipoico, coenzima A, tiamina pirofosfato, glutatión, biotina, entre otras.
Grupo 2	Nutrientes que son importantes en acumulación de energía e integridad estructural.
P	Componentes de fosfatos de azúcar, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, ácido fítico, tiene un rol clave en reacciones que envuelven el ATP.
Si	Depositado en la pared celular. Contribuye a propiedades mecánicas la misma, incluyendo rigidez y elasticidad.
B	Forma complejos con manitol, mananos, ácido polimanurónico, y otros constituyentes de la pared celular. Además, permanece involucrado en la elongación celular y el metabolismo de ácidos nucleicos.
Grupo 3	Nutrientes que permanecen en forma iónica
K	Es cofactor de más de 40 enzimas. Principal catión en la estabilidad de la turgencia celular y mantenimiento de la electroneutralidad de esta.

Fuente: Evans y Sorger (1966); Mengel y Kirkby (2001).

Continuación Cuadro 7.

Nutriente mineral	Funciones
Ca	Constituyente de la lámina media la pared celular. Participa como cofactor de enzimas involucradas en la hidrolisis del ATP y fosfolípidos. Actúa como un mensajero secundario en la regulación del metabolismo.
Mg	Requerido por varias enzimas involucradas en la transferencia de fosfato. Forma parte de la molécula de clorofila.
Cl	Requerido para reacciones que envuelven el O ₂ en la fotosíntesis.
Zn	Constituyente de enzimas como alcohol deshidrogenasa, glutatión deshidrogenasa, anhidrasa carbónica, entre otras.
Na	Involucrado con la regeneración de fosfoenolpiruvato en plantas C4.
Grupo 4	Nutrientes que son involucrados en reacciones redox
Fe	Constituyente de citocromos, y proteínas involucradas en la fotosíntesis, la fijación de N y respiración.
Mn	Requerido para la actividad de algunas enzimas deshidrogenasas, descarboxilasas, quinasas, oxidasas y peroxidasas. Involucrado con otros procesos de activación de enzimas por cationes, participación en la fotosíntesis.
Cu	Componente del ácido ascórbico oxidasa, tirosinasa, monoamina oxidasa, uricasa, citocromo oxidasa, fenolasa y plastocianina.
Ni	Constituyente en la ureasa. Componente de hidrogenasas en bacterias fijadoras de N.
Mo	Constituyente de nitrogenasa, nitrato reductasa, y xantantina deshidrogenasa.

Fuente: Evans y Sorger (1966); Mengel y Kirkby (2001).

En las curvas de absorción se puede determinar las épocas más idóneas para la aplicación de fertilizantes, debido a que dicho manejo se debe realizar en los momentos previos a los picos de absorción. De igual modo permiten conocer un aproximado de la cantidad total de nutrientes que necesita la planta para su desarrollo total y, por ende, realizar un ajuste en los planes de fertilización para maximizar su eficiencia (Sancho 1999).

Según Bertsch (2003) para construir una curva de absorción se deben de seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar una sola variedad del cultivo.
2. Escoger lotes de plantas en excelentes condiciones y con altos rendimientos potenciales.
3. Definir las etapas fenológicas más importantes del ciclo del cultivo.
4. Dividir la planta en los tejidos de importancia (parte aérea, raíz y tubérculo).
5. Tomar mínimo 3 repeticiones por etapa y tejido a estudiar y medir, peso fresco, seco y concentración de nutrientes en el tejido.
6. Calcular el peso seco acumulado.
7. Graficar la curva de crecimiento.
8. Calcular la cantidad de nutrimentos absorbida mediante las siguientes fórmulas.
 - **kg de nutriente por tejido/ha= Peso seco (kg/ha) del tejido x (contenido de nutriente (%))/ 100**, cuando las concentraciones en el follaje se expresan en %.
 - **g de nutriente por tejido/ha= Peso seco (kg/ha) del tejido x (contenido de nutriente (mg/kg))/ 1000**, cuando las concentraciones en el follaje se expresan en ppm.

De igual forma, Bertsch (2003) menciona las distintas utilidades que tiene las curvas de absorción, las cuales se detallan a continuación:

1. Permite conocer los nutrimentos que se acumulan en cada tejido en cada etapa de crecimiento.

2. Se pueden determinar los puntos de máxima absorción, y con ellos las épocas precisas de aplicación de fertilizantes.
3. Se puede determinar los tejidos en los que se acumulan nutrientes con el fin de poder reciclarlos, volviéndolos a incorporar al suelo.
4. Es posible establecer la translocación de nutrimentos de unos tejidos a otros de la planta durante el ciclo.
5. Permite maximizar la eficiencia de la fertilización en el tiempo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar la curva de absorción de nutrimentos de la *T. diversifolia*, durante la etapa productiva, la extracción total del forraje y el efecto en las tasas de extracción a tres planes de fertilización nitrogenada.

3.2 Objetivos específicos

- a) Describir la curva de crecimiento del forraje *T. diversifolia* con base a los datos de peso fresco y seco a tres edades de rebrote y 3 niveles de fertilización nitrogenada.
- b) Obtener las curvas de absorción para los nutrimentos N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn y B.
- c) Cuantificar la concentración de los nutrimentos en el follaje a 3 edades de rebrote y 3 niveles de fertilización nitrogenada.
- d) Proponer un plan de fertilización que sea acorde a los requerimientos de la *T. diversifolia* y a las características de la finca.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Procedimiento general

El diseño experimental usado correspondió a un factorial completo 3 x 3 y una distribución de bloques al azar, categorizados en 1, 2, 3 y 4, en una escala ascendente sobre las características de encharcamiento del suelo. Los factores principales fueron la edad de rebrote (20, 40, 60 días) y el nivel de fertilización (0, 100, 200 kg N/ha). El experimento se llevó a cabo durante el período del 31 de agosto del 2018 al 30 de abril del 2019. Los datos generados en dicho lapso de tiempo se extrapolaron a valores de un año.

4. 2. 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 cordenadas N9 34.561 W84 32.395. La finca se encuentra a una altura de 15 msnm, el tipo de suelo en la zona se clasifica en el orden de los Inceptisoles y al suborden ustepts de la zona, según el mapa de suelos de Costa Rica (CIA et al. 2016). El terreno sembrado de botón de oro en la finca fue de 400 m², en el cual se distribuyeron un total de 36 parcelas de 4 m² cada una, para disponer de 4 parcelas por tratamiento.

4.3. Pluviometría

Los datos de precipitación de la finca se recolectaron durante el período experimental con la ayuda de un pluviómetro, el cual fue colocado en un espacio abierto de la finca y se revisaba y registraban los datos todos los días a las 6 a.m. En el Cuadro 8 se puede evidenciar el acumulado de lluvia durante el período experimental y la distribución mensual.

Cuadro 8. Régimen pluviométrico presentado en el periodo experimental de septiembre 2018-abril 2019.

Ítem	Periodo experimental (meses)								Total
	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
Precipitaciones (mm)	343	903	182	0	0	0	0	60	1488
Distribución (%)	23	61	12	0	0	0	0	4	100

Lo expuesto en el Cuadro 8, muestra que el período experimental comprendió tanto período lluvioso como seco. El promedio mensual de lluvia fue de 186 mm, sin embargo, su distribución muestra una gran acumulación en los primeros 2 meses. Con el fin de evaluar este efecto la precipitación acumulada por tratamiento se ingresó como covariable, un resumen de dichos datos se muestra en Cuadro 9.

Cuadro 9. Precipitación acumulada y desviaciones estándar según tratamiento durante el período experimental.

Tratamiento	Precipitación acumulada (mm)
T1, T2 y T3	280 ± 265
T4, T5 y T6	357 ± 348
T7, T8 y T9	388 ± 522

4.4. Cultivo

La plantación utilizada fue establecida a partir de estacas de 30-40 cm de longitud proporcionadas por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología

Agropecuaria (INTA), dichas estacas provienen del ecotipo INTA-Quepos, evaluado y reproducido en la estación experimental de Quepos. La siembra se realizó en forma vertical a una profundidad de 10 centímetros, en un terreno previamente mecanizado por medio de 2 pases de rastra a una profundidad de 30 cm, el marco de siembra corresponde a un 1 x 1 m, con una densidad de siembra de 10.000 plantas/ha.

La siembra del material se realizó 4 meses antes de iniciar el período de experimentación, con el fin de otorgarle a la planta el tiempo necesario para su establecimiento.

4.5. Análisis de suelo

Posterior a la preparación del terreno se procedió a tomar una muestra de suelo a una profundidad de 20 cm utilizando un barreno. Para obtener dicha muestra se realizó un muestreo en zig-zag que comprendió un total de 20 submuestras, que posteriormente se homogenizaron, se cuarteó y se generó la muestra compuesta (1 kg de suelo), la cual se analizó en el Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA-UCR). Los resultados de dicho análisis se muestran el Cuadro 10.

Cuadro 10. Parámetros analizados de la muestra de suelo proporcionada al laboratorio del CIA.

KCl-Olsen Modificado	pH		cmol(+)/L			%			mg/L			
	H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
Nivel crítico	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
Muestra	5,5	0,34	25,24	15,08	0,14	40,80	0,8	3	3,4	12	50	41

CICE=capacidad de intercambio catiónico efectiva

En los parámetros evaluados se muestra una deficiencia a nivel de P y K, los cuales se encuentran por debajo del dato de referencia. Por ende, se realizó una aplicación de P y K por medio del fertilizante comercial 10:30:10 (100 kg/ha), dicha aplicación se calculó a partir de la

diferencia entre el nivel del nutriente en el suelo y el nivel crítico de referencia. Además, se analizaron otros parámetros del suelo que se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Parámetros analizados de la muestra de suelo proporcionada al laboratorio del CIA.

Ítem	mS/cm		%		Relación
	CE	C	N	MO	C/N
Referencia	1,5				
Muestra	0,1	2,02	0,23	2,89	8,8

CE= conductividad eléctrica, MO= materia orgánica, C= carbono, N= nitrógeno.

4.6. Tratamientos evaluados

Cuadro 12. Descripción de los tratamientos evaluados según los factores de edad y nivel de fertilización.

Tratamiento	Edad de corte (días)	Nivel de fertilización (kg/N/ha/año)
1	20	0
2	20	100
3	20	200
4	40	0
5	40	100
6	40	200
7	60	0
8	60	100
9	60	200

Una vez demarcadas las parcelas con sus respectivos tratamientos se realizó un corte de uniformización. Durante el período experimental se realizaron 4 cosechas a cada parcela.

4.7. Aplicación de fertilizante nitrogenado

La aplicación de la dosis nitrogenada (100 y 200 kg de N/ha) se realizó por medio de la fórmula química Nitrato de amonio (33,5 % N), las aplicaciones se realizaron en el período lluvioso, segmentada en tres dosis y localizada en cada planta con la ayuda de un espeque. La fertilización se realizó 12 días posterior al corte.

4.8. Variables a evaluar

4.8.1. Altura de la planta

Se midió la altura de las plantas de cada parcela con una cinta métrica, la medición se realizó desde el corte anterior hasta el ápice de un rebrote al azar. Teniendo 4 mediciones por parcela en cada muestreo, sin embargo, la altura reportada por parcela consistió en el promedio de las cuatro plantas.

4.8.2. 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 las hojas + peciolo del tallo, posteriormente se pesaron en una balanza (Brecknell Electro Samson®) y el cociente de dicha relación se reportaba por parcela.

4.8.3. 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. Las cuales fueron fotografiadas y posteriormente analizadas siguiendo el protocolo del software libre ImageJ® 1.47v, para obtener el área foliar por hoja, posteriormente se promediaron las 10 mediciones para obtener un valor de área/hoja por planta.

4.8.4. Biomasa

En los muestreos se pesó el material disponible por parcela con una balanza (Brecknell Electro Samson®), dicho material se cosechó a 30 cm del suelo, por medio de la paliación de regla de 3 se obtuvo la biomasa fresca en kg MF/ha. Posteriormente con el valor de materia seca cuantificado en laboratorio del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), se procedió a multiplicar por biomasa fresca para obtener los kg MS/ha.

4.8.5. Materia Seca (MS)

Para obtener el porcentaje de materia seca se realizó una muestra compuesta por tratamiento en cada muestreo, esta muestra consistió en un kg de muestra fresca compuesta

de 250 g por parcela correspondiente a cada tratamiento, la cual se llevó al laboratorio del CIA. Posteriormente se calculó los kg de forraje por hectárea mediante la siguiente fórmula:

$$\text{kg de } \frac{MS}{ha} = \text{kg biomasa fresca} * \% \text{ de MS}$$

4.8.6. Concentración de nutrientes a nivel foliar

Al final del período experimental se tomaron las muestras ingresadas para materia seca y se realizó una muestra compuesta por tratamiento, que posteriormente ingresaron al Laboratorio de Suelos y Foliare del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), el cual por medio de un análisis químico foliar permite conocer las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B y S a nivel foliar.

4.8.7. Nivel de extracción de nutrientes

A partir de conocer las concentraciones a nivel foliar, se valoró el nivel de extracción en kg y g por hectárea de los diferentes nutrientes. Lo cual se analizó por medio de gráficos, esta extracción total se obtiene relacionando la concentración foliar con la biomasa en MS producida por hectárea.

4.9. Descripción del análisis estadístico

Las variables, altura, área foliar, relación hoja: tallo y biomasa, se analizaron por medio del programa estadístico Infostat®, utilizando la función de modelos generalizados mixto (GML) con una distribución de Poisson, en cuanto a los valores de materia seca se evaluaron mediante un análisis de covarianza. Ambos análisis a partir de un diseño factorial 3x3, donde se evaluó el efecto de cada factor y las interacciones entre factores.

Para correr el GML se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_{cort_i} + N_{fert_j} + E_{cort_i} * N_{fert_j} + B_k + \beta A_l + E_{ijklm}$$

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

$$Y_{ijkl} = \mu + E_{cort_i} + N_{fert_j} + E_{cort_i} * N_{fert_j} + \beta A_l + E_{ijklm}$$

Donde:

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

μ : media general de la respuesta

E_{corte_i} : efecto del i-ésimo tratamiento edad de corte.

N_{fert_j} : efecto del j-ésimo tratamiento nivel fertilización.

$E_{corte_i} * N_{fert_j}$: efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento edad de corte y el j-ésimo tratamiento nivel de fertilización.

B_k : efecto de del k-ésimo bloque

βA_i : efecto de la i-ésima covariable precipitación acumulada

e : 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.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Contenido de materia seca (MS)

En la actual investigación el contenido de MS de la *Tithonia diversifolia* (Cuadro 11), se encuentra en el rango reportado por otros autores, los cuales se muestran en el Cuadro 2. La edad de cosecha y la precipitación acumulada presentaron un efecto significativo sobre este parámetro ($p < 0,001$), sin embargo, la fertilización parece no tener ningún efecto.

Cuadro 13. Media y desviación estándar del contenido de materia seca de la *Tithonia diversifolia* según edades de cosecha.

Variable	Edad (días)		
	20	40	60
Materia seca (%)	14,19 ^a ± 3,75	16,39 ^a ± 5,32	19,82 ^b ± 3,37

a,b. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

No se observaron diferencias significativas entre edades tempranas (20 y 40 días), sin embargo, difieren con respecto a los 60 días, presentando un aumento de 4,5 unidades porcentuales de MS. El comportamiento habitual de la planta es un incremento en la materia seca al aumentar la edad, sin embargo, Taiz y Zeiger (2002) indican que un desbalance entre la fotosíntesis y la respiración, producto de una transpiración excesiva, puede conllevar a valores atípicos. Por tanto, este comportamiento se puede deber a la época evaluada, ya que las lluvias fueron escasas en este periodo, como lo muestra el Cuadro 8.

Como se mencionó previamente el contenido de MS al día 40 no fue estadísticamente diferente del día 20, lo que no coincide con lo esperado, debido a que los forrajes presentan mayor contenido de MS al aumentar la edad (Villalobos-Mora 2010). Esto se puede asociar al efecto de la precipitación.

5.2. Relación hoja:tallo (H:T)

La relación H:T fue afectada ($p < 0,0001$) por la edad de cosecha de la planta, favoreciendo la producción de tallo al aumentar la edad. El nivel de fertilización y la interacción entre la edad de cosecha y nivel de fertilización no afectaron dicha variable.

Cuadro 14. Medias de la relación hoja:tallo de la *Tithonia diversifolia* según edades de cosecha.

Variable	Edad (días)		
	20	40	60
Relación H:T	4,06 ^a ± 2,27	2,43 ^b ± 1,68	1,98 ^b ± 1,94

a,b. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las relaciones H:T a diferentes edades de cosecha se aprecian en el Cuadro 14, las cuales fueron diferentes ($p < 0,001$) entre la edad de 20 días respecto a 40 y 60 días, sin embargo, no existe diferencia entre estas dos últimas edades de corte. 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 se encuentra en el rango reportado para otras arbustivas como *Morus alba*, *Cratylia argentea*, *Trichantera gigantea*, que presentan relaciones H:T en el rango de 1,3 a 2,31 (Boschini et al. 1998). Ahora bien, si se compara con gramíneas de corte, se encuentra que los valores reportados para las arbustivas son mayores. En el caso de las variedades de *Pennisetum purpureum* presentan valores de relación H:T de 0,54-0,65 (Araya y Boschini 2005).

La tendencia de los datos de relación H:T (Cuadro 14) indica que a mayor edad se presenta una menor relación, 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).

Según Cerdas-Ramirez (2015) entre los beneficios de fertilizar forrajes se encuentra un incremento en la relación H:T, lo cual coincide con los resultados reportados por Pastrana et al. (2011) en una evaluación de la respuesta de *Brachiaria humidicola*. Sin embargo, la respuesta de *Morus alba* a la fertilización nitrogenada evidenció una disminución en dicha relación (Boschini et al. 1999). En el presente estudio no se encontraron diferencias por efecto de fertilización.

En las hojas se concentran nutrientes de mayor digestibilidad. En el caso de la *T. diversifolia* las hojas presentan mayores contenidos de proteína que el tallo (Lezcano et al. 2012). Los tallos presentan mayor contenido de lignina y cenizas en los forrajes en general, lo cual involucra menores porcentajes de digestibilidad y menor contenido energético (Elizondo y Boschini 2001), por ende es preferible relaciones H:T altas.

5.3. Altura de la planta

La interacción entre la edad y el nivel de fertilización presentó un efecto significativo ($p < 0,0001$) sobre la altura de la *T. diversifolia* (Cuadro 15). La altura máxima en esta investigación corresponde a 84 cm. Pérez et al. (2009) indican que esta planta puede llegar alcanzar hasta 4 m, pero, 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.

Las medias de la altura fueron superiores ($p < 0,005$) en los tratamientos con fertilización comparados a los no fertilizados (Cuadro 15). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas de acuerdo con el nivel de 100 y 200 kg N, a excepción de los 60 días, donde la altura fue mayor al agregar 200 kg de N. 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 plantas. Al igual, 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). En términos numéricos, se refleja un incremento de la altura según el nivel de fertilización nitrogenada (100 y 200 kg de N), el mayor aumento se observó a la edad de 60 días de cosecha con un cambio de 14 cm.

5.4. Área foliar

La interacción entre la edad y el nivel de fertilización presentó un efecto significativo ($p < 0,0001$) sobre el área foliar de la *Tithonia diversifolia* (Cuadro 15). La mayor área foliar se presentó en el T9 (60d:200 kg N), con un valor de 102,38 cm², el cual fue superior en un 25 % a lo reportado por Holguin et al. (2015) en una evaluación de 44 ecotipos en Colombia.

Se encontraron diferencias ($p < 0,005$) en el área foliar entre los diferentes tratamientos a excepción de T2 (20d:100 kg N) y T3 (20d:200 kg N), T7 (60d:0 kg N) y T8 (60d:100 kg N) (Cuadro 15). Por otro lado, con el objetivo de ejemplificar el cambio de área foliar, en la Figura 1 se muestra la tendencia de los datos.

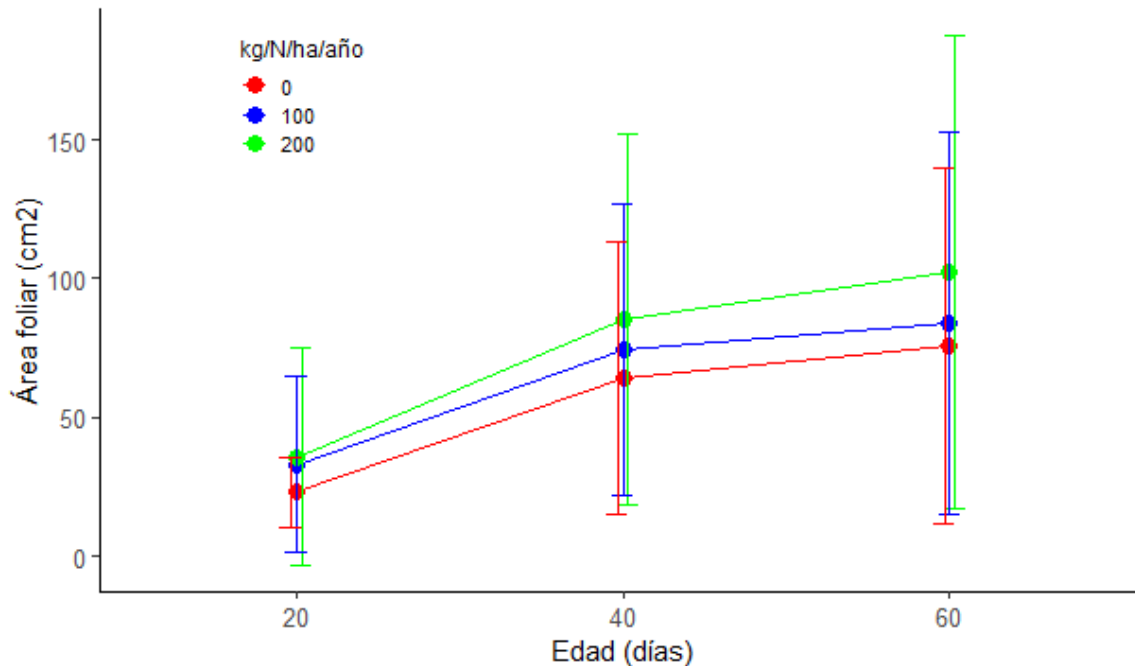


Figura 1. Área foliar de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

El incremento de área foliar a través del ciclo (Figura 1), corresponde a $1,5 \text{ cm}^2/\text{día}$ en promedio, sin embargo, desde el punto de vista porcentual, el mayor aumento se da de 20-40 días con un 47%, seguido por 0-20 días con un 36%. Este crecimiento coincide con lo reportado por Gallego-Castro et al. (2015) donde se le atribuye un rebrote inicial lento por falta de área foliar, seguido de un crecimiento acelerado de la parte foliar de la planta.

El área foliar ($p > 0,005$) de T7 (60d:0 kg N) referente a T8 (60d:100 kg N), simula un comportamiento atípico, ya que se espera un incremento de área como efecto de la fertilización (Figura 1). En los cultivo 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).

Numéricamente, las áreas foliares en las tres edades evaluadas fueron superiores al fertilizar con 200 kg N/ha (Figura 1). 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.

Cuadro 15. Respuesta de las variables morfológicas de la *Tithonia diversifolia* según el tratamiento evaluado.

Variable	Tratamiento								
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Edad : kg N/ha	20:0	20:100	20:200	40:0	40:100	40:200	60:0	60:100	60:200
Altura (cm)	18,9 ^a ± 11,4	23,5 ^b ± 15,5	25,9 ^b ± 17,4	43,6 ^c ± 25,6	57,0 ^d ± 34,1	55,4 ^d ± 34,9	75,7 ^e ± 52,1	68,6 ^e ± 51,5	84,5 ^f ± 53,2
Área foliar (cm ²)	23,1 ^a ± 12,6	33,2 ^b ± 31,9	35,9 ^b ± 39,1	64,5 ^c ± 49,0	74,3 ^d ± 52,4	85,3 ^e ± 66,7	82,0 ^{ef} ± 65,6	84,0 ^f ± 68,9	102,4 ^g ± 85,2
Biomasa (t/ha/año)	2,2 ^a ± 1,9	3,1 ^b ± 3,1	3,9 ^b ± 3,5	4,9 ^c ± 4,8	8,9 ^d ± 7,6	9,9 ^{de} ± 9,6	9,5 ^{ef} ± 10,6	10,3 ^{ef} ± 9,2	12,4 ^f ± 10,0

a,b. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

5.5. Biomasa

La disponibilidad de kg de MS por hectárea presentó una tendencia creciente a avanzar la edad de rebrote del cultivo, como se ve reflejado en la Figura 2. La tendencia representa que al inicio las producciones se mantienen muy similar, sin embargo, a partir de los 20 días se presentan mayores producciones en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados.

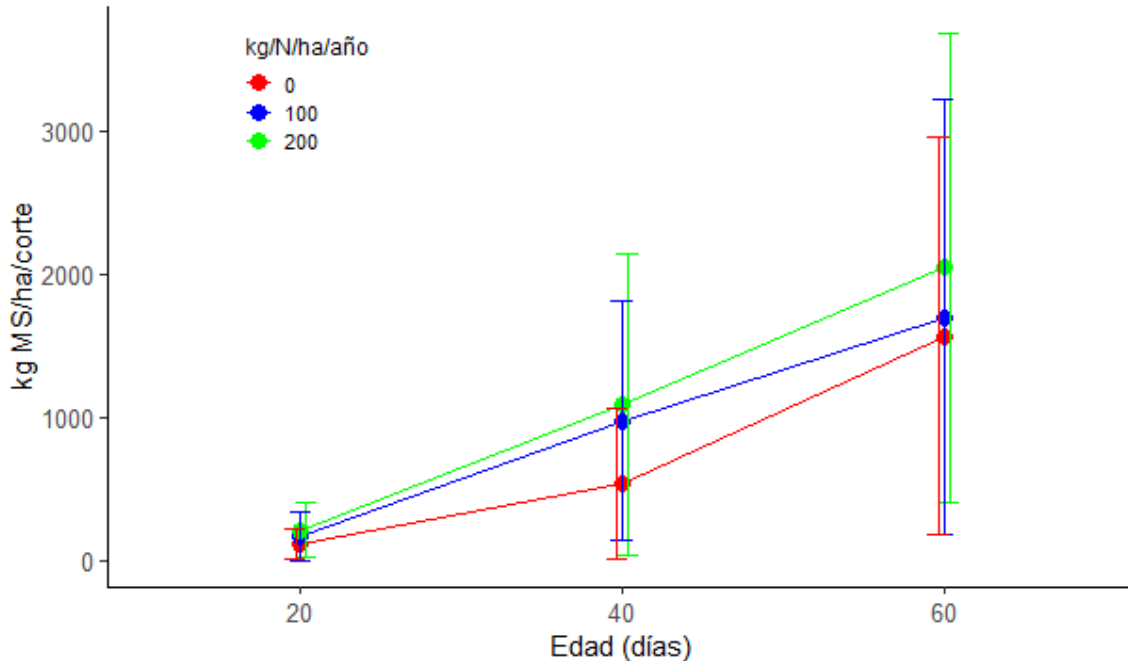


Figura 2. Disponibilidad de producción de biomasa de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

La interacción entre la edad y el nivel de fertilización presentó un efecto significativo ($p < 0,0001$) en la producción de biomasa de la *T. diversifolia*. Sin embargo, no hubo efecto ($p < 0,005$) entre los niveles de aplicación de 100 kg N/ha respecto a 200 kg N/ha. En la Figura 2, se puede apreciar un aumento en los valores de producción de biomasa en los tratamientos fertilizados respecto a no fertilizados, cuantificándose un promedio del 43 y 69 % en los niveles de fertilización de 100 y 200 kg N/ha, respectivamente. Otros autores han reportado que las fertilizaciones nitrogenadas crecientes reflejan mayores producciones de biomasa (Boschini et al. 1999 y 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 respuesta en la producción de biomasa se ve afectada por el patrón de precipitaciones (Figura 5), y según Mendes-Reis et al. (2015), cuando sucede estas circunstancias los estomas se cierran, ocasionando menor captación de CO_2 , al final conllevando una reducción en la eficiencia fotosintética y, por ende, comprometiendo el crecimiento de las plantas.

La mayor biomasa (11,37 t MS/año) se reportó a la edad de cosecha de 60 días, en otros estudios se ha reportados producciones similares para el botón de oro (Zavala et al. 2007; González et al. 2013 y 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, al igual 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 y factores climáticos (Gallego-Castro et al. 2014), y el ecotipo de la planta (Holguin et al. 2015). En Costa Rica, según el Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) se han descrito 34 variedades de botón de oro (Arronis-Díaz 2015).

5.6. Índices de crecimiento

Un análisis más exhaustivo del crecimiento de las plantas involucra el uso de índices fisiológicos como el Índice de Crecimiento Absoluto (ICA) y el Índice de Crecimiento Relativo (ICR). Con dichos parámetros se puede evidenciar el crecimiento de la planta en términos de peso/tiempo y peso/peso tiempo⁻¹, respectivamente (Soledad-Hernández *et al.* 1995), la Figura 3 muestra el comportamiento del crecimiento de la *T. diversifolia*.

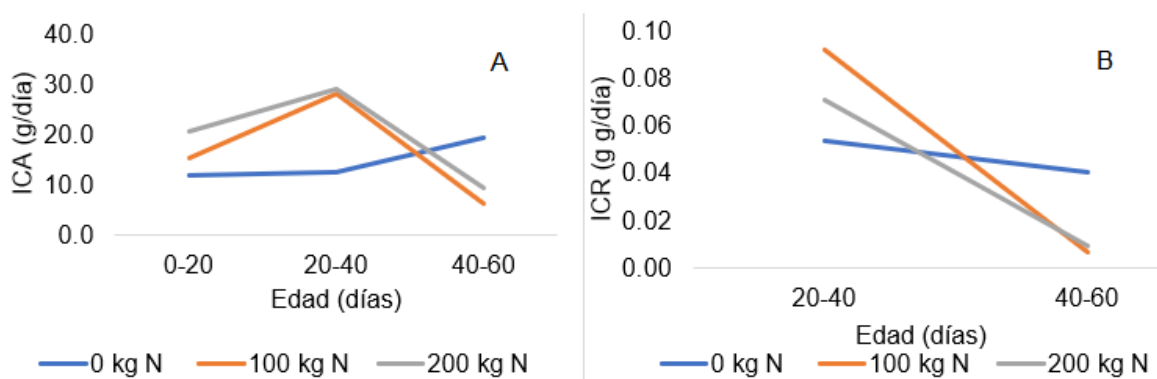


Figura 3. Comportamiento del ICA (A) y del ICR (B) de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada

La tendencia del ICA señala que la fertilización causa un crecimiento inicial (0-20 días) con una caída en dicha velocidad al alcanzar una madurez (40-60 días), como lo mencionan Rincón et al. (2007). Sin embargo, los tratamientos no fertilizados no presentan la misma tendencia (Figura 3A), no obstante, si la evaluación hubiese comprendido mayores edades, posiblemente revelaría el mismo comportamiento. Por otro lado, el crecimiento máximo diario

en los tratamientos no fertilizados fue de 19 g y en los fertilizados 29 g, evidenciando un incremento en su crecimiento diario en respuesta a la fertilización, resultados congruentes con lo reportado en otros forrajes (Del Pozo et al. 2001, Torres-Moya et al. 2016).

La capacidad de la planta para producir nuevo material foliar, está relacionada con su capacidad fotosintética y su tasa de respiración. Se puede evaluar con el ICR, la tendencia mostrada corresponde a valores altos iniciales y una disminución al aumentar la edad (Rincón et al. 2007), lo cual coincide con el comportamiento de la Figura 3B. Por otro lado, esta disminución es más abrupta en los tratamientos fertilizados, lo cual coincide con lo reportado por Torres-Moya et al. (2016), atribuyéndolo a que la planta presenta un crecimiento inicial en mayor medida, posiblemente alcanzando su óptimo desarrollo con mayor prontitud.

El ICR a 20-40 días de edad en el botón de oro mostró valores superiores en los tratamientos fertilizados respecto a no fertilizados, evidenciando que el nitrógeno provocó un efecto de desarrollo más eficiente del sistema fotosintético en la planta (Montejo-Martínez et al. 2018).

5.7. Eficiencia de fertilización

La valoración de la eficiencia de la fertilización (Cuadro 16) se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia de fertilización} = \frac{\text{RendMS}_{CF} - \text{RendMS}_{SF}}{\text{Kg N aplicado}}$$

Donde:

RendMS_{CF}= Producción de Materia Seca con fertilización

RendMS_{SF}= Producción de Materia Seca sin fertilización

Kg N aplicado= Cantidad de nitrógeno aplicado

Cuadro 16. Eficiencia de producción de biomasa (kg MS kg N aplicado) de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha.

Edad (días)	Nivel de fertilización	
	100 kg N	200 kg N
	Eficiencia kg MS/ha/kg N	
20	9,20	8,55
40	39,60	25,10
60	8	29

La mayor eficiencia de fertilización se da a los 40 días (Cuadro 16), lo cual coincide con el comportamiento de la Figura 3A, donde la tasa de crecimiento se ve disminuida después de sobrepasar los 40 días de edad. Del mismo modo, las mejores eficiencias se obtienen al aplicar 100 kg de N al obtener 39 kg de MS/ha/kg de N aplicado a los 40.

La eficiencia de la fertilización nitrogenada puede también ser evaluada a partir de la capacidad de la planta de extraer dicho nutriente y acumularlo a nivel foliar. En la Figura 4 se puede observar los kg de N extraídos por año respecto a los kg N aplicado.

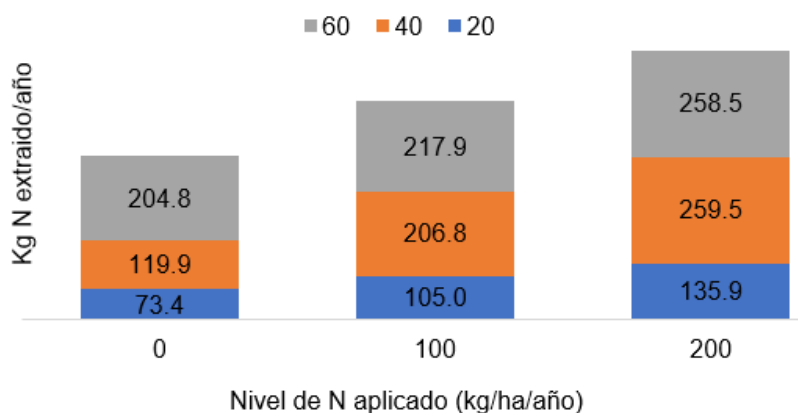


Figura 4. Eficiencia de extracción de N de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

Al realizar fertilizaciones nitrogenadas, la planta tiene mayores extracciones anuales sin importar la edad (Figura 4). Sin embargo, la eficiencia de la aplicación refleja valores porcentuales de 31,6, 86,9 y 13,1 al aplicar 100 kg N a las edades de 20, 40 y 60 días, respectivamente, mientras que al aplicar 200 kg N y a estas mismas edades se obtiene eficiencias de 31,2, 69,8 y 26,8 %, respectivamente. Al igual que lo mencionado anteriormente, se evidencia el mayor porcentaje de eficiencia a los 40 días en ambas dosis de N, pero en general aplicar 100 kg N/ha resulta una mayor eficiencia. En una evaluación realizada por Cerdas-Ramírez (2018), se encontró diferencias al aplicar 200 kg de N respecto a 100 kg en cortes de 45 días de edad, sin embargo, no hubo respuesta significativa a dosis mayores.

Algunos trabajos reportan altas producciones de biomasa del botón de oro en condiciones de cero fertilización (Arias-Gamboa 2018, Gallego-Castro et al. 2015, Sanabria-Celis y Avila-Carrillo 2015) y en algunas ocasiones se indica la baja exigencia del cultivo a fertilizantes, atribuible a la habilidad del forraje para recuperar los escasos nutrientes del suelo, relacionado con su desarrollo radicular y capacidad de solubilización del fósforo. Sin embargo, se debe pensar en retribuir los nutrientes extraídos para mantener la fertilidad del suelo (Pereira et al. 2018 y González-Castillo et al. 2014).

La respuesta de los cultivos a la fertilización nitrogenada se ha reportado ampliamente, González-Torres et al. (2016) señalan que al aumentar la dosis de nitrógeno en el cultivo de maíz se obtienen mayores rendimientos en producción de biomasa, sin embargo, existe una disminución en la eficiencia en el uso del nitrógeno aplicado. Este comportamiento se reflejó en el actual trabajo (Cuadro 15). Del mismo modo Villalobos-Mora (2010) encontró poca eficiencia en la aplicación de N al pasto ratana, atribuyéndola que, a diferencia de otros forrajes que si muestran respuesta a altos niveles de N (>200 kg N/ha), han llevado un proceso de mejora genética. A su vez, el botón de oro es una planta muy rústica, como se ha mencionado anteriormente, y sin ninguna mejora genética, lo cual puede justificar su poca respuesta a incrementos en los niveles de fertilización nitrogenada.

5.8. Correlaciones entre variables

Los coeficientes de correlación entre las variables estructurales estudiadas y los factores de edad y precipitación se muestran en el Cuadro 16. Los niveles de fertilización no se incluyeron debido a que los coeficientes no presentaron significancia ($p>0,05$).

Cuadro 17. Coeficiente de correlación de Pearson para la variables y factores estudiados.

Variabes	Biomasa	Altura	Relación H:T	Área foliar
Biomasa	1,00			
Altura	0,94**	1,00		
Relación H:T	-0,62**	-0,66**	1,00	
Área foliar	0,88**	0,88**	-0,64**	1,00
Precipitación	0,66**	0,64**	-0,50**	0,79**
Edad	0,40**	0,51**	-0,39**	0,38**

**valores de $p < 0,0001$

La biomasa presentó alta correlación ($>0,80$) con la altura y el área foliar de la planta, mientras que con las precipitaciones, una correlación media, al igual que con la relación H:T, sin embargo esta última es negativa. La precipitación presentó una correlación media con todas las variables evaluadas, siendo el área foliar la más beneficiada con las mayores precipitaciones (Cuadro 17).

Ramírez et al. (2011) informan una correlación de 0,96 y 0,67 para el factor de precipitaciones totales respecto a rendimiento en el período lluvioso y poco lluvioso, respectivamente, en una evaluación de rendimiento y calidad de un *Pennisetum purpureum*, los resultados coinciden con lo mostrado en el Cuadro 17.

La eficiencia de la fertilización, como se ha mencionado anteriormente, se pudo ver afectada por el patrón de precipitación, sin embargo, además de la precipitación existe una serie de factores climáticos que influyen en el rendimiento, como la temperatura, humedad relativa y la radiación. En un estudio donde se evaluó el efecto de la precipitación, la temperatura media, la máxima y mínima sobre el rendimiento de un *Pennisetum*, concluyeron que tienen un mayor peso las temperaturas (Álvarez et al. 2013). En la Figura 5 se muestra el comportamiento de la producción de biomasa a los 40 días de edad según la disponibilidad pluvial. Cabe resaltar que el mejor comportamiento del cultivo se da en dicha edad.

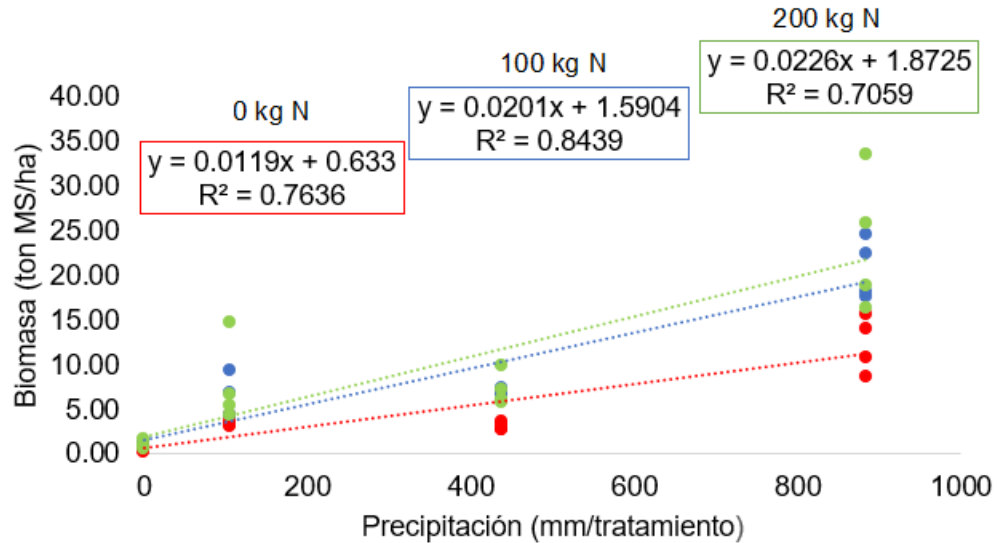


Figura 5. Biomasa de la *Tithonia diversifolia* a 40 días de rebrote según disponibilidad pluvial.

Los valores de mm lluvia/tratamiento se generaron a partir de la suma de la precipitación diaria en el período comprendido en cada tratamiento. La distribución de los datos de biomasa presenta un ajuste lineal en respuesta a la precipitación en los diferentes tratamientos. Los tratamientos fertilizados presentan una mayor pendiente, aunque la diferencia entre sí nos es tan drástica (Figura 5).

5.9. Contenidos de nutrientes a nivel foliar

El contenido de nutrientes a nivel foliar de la *Tithonia diversifolia* en los diferentes tratamientos se presenta en los Cuadros 18 y 19. El N, seguido del K y Ca, fueron los macronutrientes con mayor presencia. Los micronutrientes Fe y Mn son los que se encuentran en mayores concentraciones por kg de forraje. El mismo comportamiento lo reportan Aye (2016) y Reis et al. (2016), mientras que Botero-Londoño et al. (2019) reportan el Zn en cantidades superiores a Mn.

Cuadro 18. Concentración foliar de macroelementos de la *Tithonia diversifolia* según los distintos tratamientos evaluados.

Tratamiento	g nutriente/kg de MS					
	N	P	Ca	Mg	K	S
T1(20d:0 kg N)	33,8	4,1	19,3	7,8	29,9	2,4
T2(20d:100 kg N)	34,0	3,8	20,3	7,5	28,5	2,2
T3(20d:200 kg N)	35,0	3,8	19,7	8,0	26,8	2,1
T4(40d:0 kg N)	24,4	3,9	24,3	7,9	24,7	2,0
T5(40d:100 kg N)	23,3	3,0	19,0	6,4	24,0	1,6
T6(40d:200 kg N)	26,1	2,9	19,1	6,8	21,8	1,6
T7(60d:0 kg N)	21,5	2,8	23,1	7,8	19,4	1,7
T8(60d:100 kg N)	21,1	2,4	22,7	8,0	17,9	1,6
T9(60d:200 kg N)	20,8	2,5	25,1	8,2	17,0	1,7

El nitrógeno presentó una tendencia al aumento al fertilizar a excepción de los tratamientos correspondientes a 60 días (T7, T8, T9). En este caso, se podría deber a que en la planta, al aumentar su edad, los niveles de proteína disminuyen debido a la disminución de síntesis de compuestos proteicos, cantidad de hojas y el aumento de síntesis de componentes de la pared celular (Méndez et al. 2018). En *Tithonia diversifolia*, este comportamiento ha sido evaluado por Verdecia et al. (2011) y han reportado una disminución proteica conforme aumenta la edad.

Botero-Londoño et al. (2019), encontraron contenidos de 43,7 g N/kg en condiciones de 0 fertilización a una edad de 50 días, pero con un incremento del mismo al fertilizar (NPK) llegando a valores de 48,9 g N/kg. Aye (2016), en una comparación del botón de oro con nacedero y moringa, reportó valores de 39 g N/kg MS. Sin embargo, Reis et al. (2016) mencionan valores de 30 g N/kg MS y 26 g N/kg MS en plantas con escasez de agua y con riego, respectivamente, a una edad de 80 días. Por otro lado, Olabode et al. (2007) reportaron

17,6 g N/kg MS en plantas usadas como abono verde en Nigeria. Cerdas-Ramírez (2018) realizó una investigación en el Pacífico Norte de Costa Rica, donde evaluó niveles de fertilización nitrogenada de 100 a 400 kg/ha, y reportó valores de 16-21 g N/kg MS a 49 días, lo cual se aproxima más a los valores del Cuadro 18. Esta similitud puede orientar a que el material usado en nuestro país presenta una menor capacidad de extracción de N.

El fósforo mostró una tendencia a reducir su contenido al aumentar el nivel de fertilización con N, sin importar la edad (Cuadro 18). En la investigación realizada por Cerdas-Ramírez (2018) se observa la misma tendencia, donde disminuyó de 3,2 g P/kg a 2,5 g P/kg a una edad de 49 días. El comportamiento evidenciado en estas investigaciones se debe a un efecto de dilución, debido a un aumento de la biomasa producto de la aplicación de N. La investigación de Cerdas-Ramírez (2018) tiene similitud con la actual, ya que el suelo presentaba niveles inferiores a los críticos de P disponible. Sin embargo, el botón de oro tiene la capacidad de generar asociaciones con micorrizas arbusculares (Glomaceae), lo cual le da una mayor capacidad de extracción del fósforo por medio de las hifas del hongo (Sharrock et al. 2004). Otras estrategias para el mejor aprovechamiento del P son aumento de sistema radicular, aumento de cargas negativas en el suelo, entre otras (Rivera et al. 2018).

Los valores de P obtenidos en esta investigación se encuentra por debajo de lo informado por Olabode et al. (2007) de 8,2 g P/ kg MS y en el rango de 4,9 a 8 g P/ kg de MS determinado por Botero-Londoño et al. (2019), estos últimos autores obtuvieron estos valores al realizar una fertilización con niveles crecientes de P, determinando una respuesta a la misma. Sin embargo, los valores inferiores en la presente investigación se puede deber a la escasez de agua, debido a que, bajos contenidos hídricos conlleva a una reducción de la tasa de difusión, principal mecanismo de absorción del fósforo (Bonadeo et al. 2017). Este comportamiento se ve reflejado en la investigación realizada por Reis et al. (2016), donde a 80 días de edad obtuvieron 1,4 y 1,8 g P/ kg MS en un sistema de escasez hídrico y con disponibilidad de riego, respectivamente.

El potasio mostró una tendencia a disminuir al incrementar la dosis de fertilización con N sin importar la edad evaluada (Cuadro 18), al igual que lo expresado sobre el P anteriormente, se debe a un efecto dilución. Este comportamiento puede haber sido potenciado debido a que el suelo es pobre en P y K (Cuadro 10).

El contenido de K, en el presente estudio fue similar a lo informado por Cerdas-Ramírez (2018) de 24,4 g K/kg MS a 45 días con similares fertilizaciones de N. Cabe resaltar que en

ambas investigaciones se presentaron altos niveles de Ca en el suelo y debido al antagonismo con el K (Taiz et al. 2015) pudo haber afectado estos valores, ya que, otros investigadores reportan valores muy superiores, de hasta 39,2 g K/kg MS (Olabode et al. 2007). Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) reportan valores de 20,7 g K/kg MS a una edad de 50 días y a 0 fertilización.

El K, al igual que el P, es absorbido por la planta mediante difusión y como se mencionó anteriormente, la escasez hídrica afecta dicho mecanismo. Condiciones como estas prevalecieron durante la investigación (Cuadro 8 y 9). Reis et al. (2016), informan un incremento de 20,3 a 28,5 g K/kg M en condiciones de escasas hídrico y al tener disponibilidad de riego, respectivamente.

El calcio mostró una tendencia de aumento en la concentración foliar al incrementar la edad de rebrote, al igual su contenido fue mayor en los tratamientos fertilizados, respecto a los no fertilizados, a excepción de T8 (60d:100 kg N) (Cuadro 18). Este comportamiento es el esperado, debido a que el Ca tiene influencia a nivel de pared celular, en otras palabras al aumentar la edad incrementa la acumulación de Ca (Taiz et al. 2015). Una tendencia similar es reportada Cerdas-Ramírez (2018) en este mismo forraje.

Los contenidos de Ca a una edad de 40-60 días se encuentran en el rango de 19-25 g Ca/kg MS, superiores a los 8,9 a 10,5 g/kg MS reportados por Cerdas-Ramírez (2018), pero similares a los 23,7 g Ca/kg MS informado por Botero-Londoño et al. (2019) a los 50 días de edad. Estos autores señalan un descenso del Ca al aumentar la fertilización de NPK debido a que, al utilizar el K en la fertilización, estimula la planta a absorberlo, provocando un efecto de antagonismo sobre el calcio (Taiz et al. 2015, Henríquez et al. 1990). Por otro lado, Olabode et al. (2007) reportan un contenido de 30,7 g Ca/kg MS, aunque ese dato se obtiene de plantas usadas para abono verde, posiblemente sea de una edad superior, lo cual conlleva a concentrar más Ca tanto para su rigidez como para el desarrollo de partes reproductivas (Taiz et al. 2015).

El magnesio no presentó una tendencia clara entre los diferentes tratamientos (Cuadro 18). Por su parte, Cerdas-Ramírez (2018) reportó un aumento significativo de Mg al agregar 200 kg respecto a 100 kg de N/ha, lo cual coincide con lo obtenido en la actual investigación. Sin embargo, Botero-Londoño et al. (2019) reportan mayores contenidos de Mg sin fertilización que al agregar dosis crecientes de NPK.

El contenido de Mg en la actual investigación se mantienen en un rango de 6,4 a 8,2 g/kg MS, en las edades de 40 a 60 días, lo cual es muy superior a los 2,6 a 3,3 g Mg/kg MS reportados a una edad de rebrote de 49 días por Cerdas-Ramírez (2018), al igual, Olabode et al. (2007) mencionan un contenido de 5 g Mg/kg MS, Botero-Londoño et al. (2019) señalan datos de 5,5 a 6,3 g Mg/kg MS. En la actual investigación los niveles de Mg en el suelo eran de 15 cmol/L muy superiores a los 0,39 y 7,82 cmol/L presentes en las investigaciones de Botero-Londoño et al. (2019) y Cerdas-Ramírez (2018) respectivamente, además, el K se presentaba en bajas concentraciones (Cuadro 10) y no provocó ninguna interferencia.

El azufre presentó una tendencia a disminuir con el aumento de los días de rebrote, además, en los tratamientos fertilizados disminuyó la concentración a excepción de los correspondientes a 60 días de edad (Cuadro 18). El azufre es necesario en la formación de aminoácidos (Taiz et al. 2015), por ende, el comportamiento mencionado a los 60 días se debe a un decaimiento en el crecimiento de la planta lo cual se ha mencionado anteriormente, los tratamientos restantes son explicado por un efecto de dilución del S por el crecimiento extra al fertilizar.

El contenido de S se encuentra en el rango de 1,6 a 2 g/kg a una edad de 40-60 días. Estos datos son superiores a los 1,4 g S/kg a los 49 días reportados por Cerdas-Ramírez (2018), por otro lado, Reis et al. (2016) reportan 1,8 g S/kg a 80 días de edad el cual hace suponer que a una edad más temprana se encontraría por encima de lo encontrado en la actual investigación, sin embargo, por los altos contenidos de Ca (Cuadro 10) en el suelo se esperaría que el S se encontrara precipitado como sulfato de calcio (Fassbender 1975), sin embargo la literatura sobre este mineral en *Tithonia diversifolia* todavía es escasa.

Los micronutrientes en las plantas tienen funciones muy relevantes, ya que, muchos intervienen como catalizadores (Taiz et al. 2015, Fassbender 1975). En la actual investigación el Mn y Fe presentaron las mayores concentraciones a nivel foliar (Cuadro 19). Botero-Londoño et al. (2019) reportan para *T. diversifolia* mayores concentraciones de Fe seguido de Zn, coincidiendo con lo mencionado por Aye (2016).

Cuadro 19. Concentración foliar de micronutrientos de la *Tithonia diversifolia* según los distintos tratamientos evaluados.

Tratamiento	mg de nutriente/kg MS				
	Fe	Cu	Zn	Mn	B
T1(20d:0 kg N)	218	18	69	231	44
T2(20d:100 kg N)	175	15	54	190	40
T3(20d:200 kg N)	164	15	59	200	38
T4(40d:0 kg N)	201	13	76	224	48
T5(40d:100 kg N)	146	9	51	178	40
T6(40d:200 kg N)	141	10	47	183	34
T7(60d:0 kg N)	242	10	56	159	39
T8(60d:100 kg N)	256	10	45	142	35
T9(60d:200 kg N)	230	10	47	163	31

El Fe, al igual que el Cu, Zn y Mn se comportan como un catión, por ende, tiene las interacciones mencionada anteriormente, tanto a nivel planta como en el suelo. En esta investigación el comportamiento del Fe representa una reducción en la concentración acorde se incrementa la fertilización posiblemente debido al efecto de disolución. Los contenidos a nivel foliar varían de 141 a 256 mg Fe/kg (Cuadro 19), lo cual está por encima de los 142 mg reportados por Botero-Londoño et al. (2019). Un aspecto a resaltar es que las mayores concentraciones se presentaron en los tratamientos de 60 días, esto debido a que este nutriente las plantas lo absorben en mayores cantidades cuando van a entrar en fase reproductiva (Molina y Hernán 2012), lo cual coincide con un mayor contenido de Fe (363 mg/kg) en la *Tithonia diversifolia* a una edad de 80 días (Reis et al. 2016).

El cobre presentó una tendencia a la disminución acorde incrementa la edad, al igual que con las dosis de nitrógeno a excepción de los tratamientos a 60 días. El cobre influye en los procesos fotosintéticos, entonces, los resultados parecen indicar una disminución en la

tasa de fotosíntesis al acercarse los 60 días, sin embargo, se debe tomar en cuenta que estos tratamientos tuvieron menos disponibilidad de precipitaciones (Cuadro 8 y 9). El valor reportado de 40 a 60 días se mantiene en un rango de 9 a 13 mg Cu/kg MS, lo cual se encuentra muy inferior a los 20,1 mg/kg MS a los 50 días reportado por Botero-Londoño et al. (2019), al igual en otra investigación se reportan 20 mg/kg MS (Aye 2016), los contenidos menores en esta investigación pueden estar asociados a efectos de antagonismo de otros cationes como el Mn y Ca, los cuales se encontraban en gran cantidad en el suelo (Cuadro 10).

El zinc presentó mayores concentraciones a los 40 días lo cual coincide con la etapa en que la planta se encuentra en mayor crecimiento, como se ha mencionado anteriormente esto puede estar relacionado con la intervención de este mineral en la síntesis de hormona de crecimiento (Bertsch 1998), el contenido a los 40 a 60 días fluctúa entre 45 a 76 mg Zn/kg, lo cual se encuentra por debajo de los 124 mg reportados por Botero-Londoño et al. (2019) a los 50 días de rebrote. Al igual que el Cu, el Zn pudo verse afectado por el antagonismo del Mn y Ca.

El manganeso presentó una tendencia a reducir su concentración al aumentar la edad del cultivo, lo cual va de la mano de una de sus funciones como lo es la reducción del N (Bertsch 1998), el cual es un proceso que ocurre en el interior de la planta para usar el NO_3^- absorbido (Taiz et al. 2015); este comportamiento estaría relacionado con lo expresado en el Cuadro 16 sobre el contenido de N. El contenido de Mn a la edad de 40 a 60 días se encuentra en un rango de 142 a 224 mg Mn/kg MS (Cuadro 19), lo cual es superior a los 121 mg/kg MS reportado por Botero-Londoño et al. (2019) lo cual puede ir de la mano de los altos contenidos de Mn en el suelo (Cuadro 10).

El boro es un importante nutriente a nivel de procesos energéticos y estructurales de la célula (Taiz et al. 2015), además de tener un comportamiento aniónico (Fassbender 1975), en cuanto al comportamiento de la concentración expuesta en el Cuadro 19, es un nutriente estable a través de la edad, posiblemente por las funciones expuestas. En cuanto al contenido a una edad de 40 a 60 días se cuenta con un rango de 31 a 48 mg/kg MS (Cuadro 19), lo cual se encuentra por debajo de los 62 mg B/kg MS a los 50 días reportados por Botero-Londoño et al. (2019), cabe resaltar efectos antagónicos de Mn y Ca, además de la posibilidad de la precipitación por efecto de Fe (Fassbender 1975), factores que pueden haber estado potenciados en la actual investigación por su nivel presente en el suelo (Cuadro 10).

5.10. Extracción de nutrimentos

La extracción total de nutrientes generalmente se expresa como kg de nutriente por hectárea en un período dado, con el objetivo de conocer la cantidad mínima a retribuir al suelo para no inducir a pérdidas de fertilidad del suelo en el tiempo. La *Tithonia diversifolia*, es un forraje perenne que produce durante todo el año, con fluctuaciones de biomasa, y por ende con extracciones, por lo que los nutrimentos removidos del sistema suelo se encuentra estrechamente correlacionados con los kg de MS.

5.10.1. Macronutrimentos

El nitrógeno mostró una tendencia al crecimiento de la extracción acorde al aumento del nivel de fertilización (Figura 6, A) sin importar la edad evaluada. Porcentualmente estas diferencias numéricas correspondieron a un 42 y 85% a una edad de 20 días, 73 y 117% a una edad de 40 días, 6 y 26% a una edad de 60 días a los niveles de 100 y 200 kg N aplicados con respecto a no fertilizar, respectivamente.

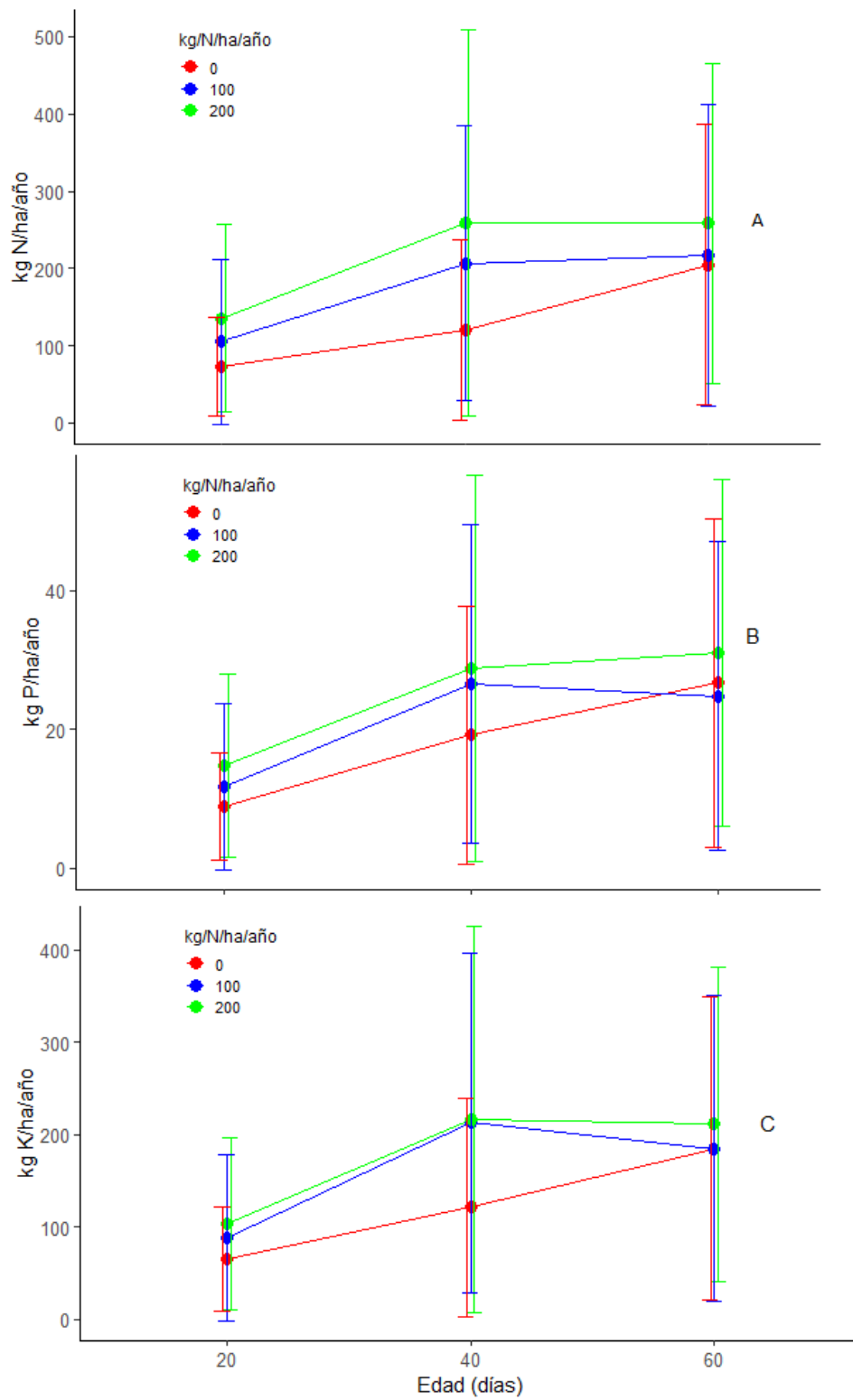


Figura 6. Extracción total de N (A), P (B) y K (C) de la *Tithotia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

En la presente investigación se obtuvo extracciones de 119, 206 y 259 kg N/ha/año a las dosis de fertilización de 0, 100 y 200 kg N/ha/año, respectivamente y a una edad de 40 días. A la edad de 60 días las extracciones correspondieron a 204, 217 y 258 kg/N, respectivamente según los niveles de fertilización mencionados (Figura 6, A). Por otro lado, Cerdas-Ramírez (2018) reporta una absorción de 421 y 821 kg N/ha/año a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha, respectivamente, además Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 211 kg N/ha/año a una edad de 50 días en condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78), obtuvieron valores de 528 y 829 kg N/ha/año, respectivamente.

Al evaluar la distribución porcentual con respecto a la extracción total de N a la edad de 60 días, se obtiene que en condiciones de 0 fertilización extrae un 36, 22 y 42% de 0-20, 20-40 y 40-60 días, respectivamente. En este mismo rango de edades con la aplicación de 100 kg N/ha se obtuvo una distribución de 48, 47 y 5%, y con la dosis de 200 kg N/ha fue de 52,47 y 1%. Esto demuestra que la planta tiene gran capacidad de extraer en los primeros 40 días.

La extracción de fósforo fue mayor en los tratamientos fertilizados, a excepción de T8 (Figura 6, B). De modo porcentual los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados extrajeron un 31, 38, -7 y 65, 50, 16% a las edades de 0-20, 20-40 y 40-60 con un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente. Los menores porcentajes se reportan a los 60 días, esto es atribuible al comportamiento de los tratamientos no fertilizados ya que, su extracción no se ve deprimida con la edad (Figura 6, B).

Cerdas-Ramírez (2018) reporta una absorción de 81 y 111 kg P a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente, por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 23,9 kg a una edad de 50 días en condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvo valores de 79 a 141 kg, respectivamente. Los datos referentes a la Figura 6 (B) muestra que, a 40 días, se obtiene extracciones de 19,2, 26,6 y 28,8 kg P con dosis de 0, 100 y 200 kg N/ha, respectivamente, mientras tanto a los 60 días se observan extracciones de 26,7, 24,8 y 31,1 kg P.

La distribución porcentual a través del ciclo de P, presenta valores en condiciones de 0 fertilización de un 33, 39 y 28% de 0-20, 20-40 y 40-60 días, respectivamente, mientras para este mismo rango de edades, pero en condiciones que se aplicaron 100 y 200 kg N/ha, se

obtiene una distribución de 47, 53 y 0%, y 47,46 y 7%, respectivamente. Esto demuestra que la planta extrae más del 90% del P en los primeros 40 días de rebrote, a excepción de condiciones de 0 fertilización.

El potasio mostró una respuesta positiva en su extracción al incluir el fertilizante nitrogenado. El incremento porcentual de la extracción en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados corresponde a un 37, 75 y 0% con dosis de 100 kg N y edades de 20, 40 y 60 días, respectivamente, en las edades mencionadas, pero con 200 kg N se obtiene un cambio de y 60, 78 y 14% respectivamente.

Cerdas-Ramírez (2018) reporta extracciones de 636 y 991 kg K a una edad de 49 días y con un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente, por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) menciona extracciones de 107,2 kg a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvo valores de 391 y 461 kg, respectivamente. La Figura 6 (C) muestra que 40 días se obtiene extracciones de 121,4, 213,0 y 216,8 kg K con dosis de 0, 100 y 200 kg N/ha respectivamente, mientras tanto a los 60 días se observan extracciones de 184,8, 184,9 y 211,3 kg K en los niveles de fertilización mencionados, respectivamente.

. La extracción de calcio aumentó en los tratamientos fertilizados respecto a no fertilizados, comportamiento no cumplido en T8 (60d:100 kg N), sin embargo, parece ser comportamiento atípico (Figura 7, A). Este incremento correspondió a un 50, 41 y 6% en dosis de 100 kg N y 82, 59 y 42% en dosis de 200 kg N en las edades de 20, 40 y 60 días, respectivamente.

Cerdas-Ramírez (2018) reporta una absorción de 229 y 429 kg Ca a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente, por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 116,4 kg a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvo valores de 249,9 y 283,8 kg respectivamente. La Figura 7 (A) muestra que, se obtuvo extracciones de 119,4, 168,6 y 189,9 kg Ca a los 40 días con dosis de 0, 100 y 200 kg N/ha, respectivamente, mientras tanto a los 60 días se observan extracciones de 220,1, 234,5 y 311,9 kg Ca en los niveles de fertilización mencionados, respectivamente.

Porcentualmente la extracción total de Ca a través del ciclo en condiciones de 0 fertilización es un 19, 35 y 54% de 0-20, 20-40 y 40-60 días, respectivamente, mientras que

en condiciones que se aplicaron 100 y 200 kg N/ha, se obtienen una distribución de 27, 45 y 28%; y de 24, 37 y 39% respectivamente en los rangos de edades mencionados.

La extracción de magnesio presentó incrementos porcentuales en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados de un 37, 46 y 11%, y 83, 74 y 37% a 20, 40 y 60 días con dosis de 100 y 200 kg N ha⁻¹, respectivamente (Figura 7B).

Cerdas-Ramírez (2018) reporta absorciones de 66,6 y 125,8 kg de Mg a una edad de 49 días y a un nivel de fertilización de 100 y 200 kg N/ha respectivamente, por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 31,0 kg de Mg a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 84,8 y 96,9 kg de Mg, respectivamente. La Figura 7 (B) muestra que a 40 días se obtiene extracciones de 38,8, 56,8 y 67,6 kg de Mg con dosis de 0, 100 y 200 kg N/ha respectivamente, mientras tanto a los 60 días se observan extracciones de 74,3, 82,6 y 101,9 kg de Mg en los niveles de fertilización mencionados, respectivamente.

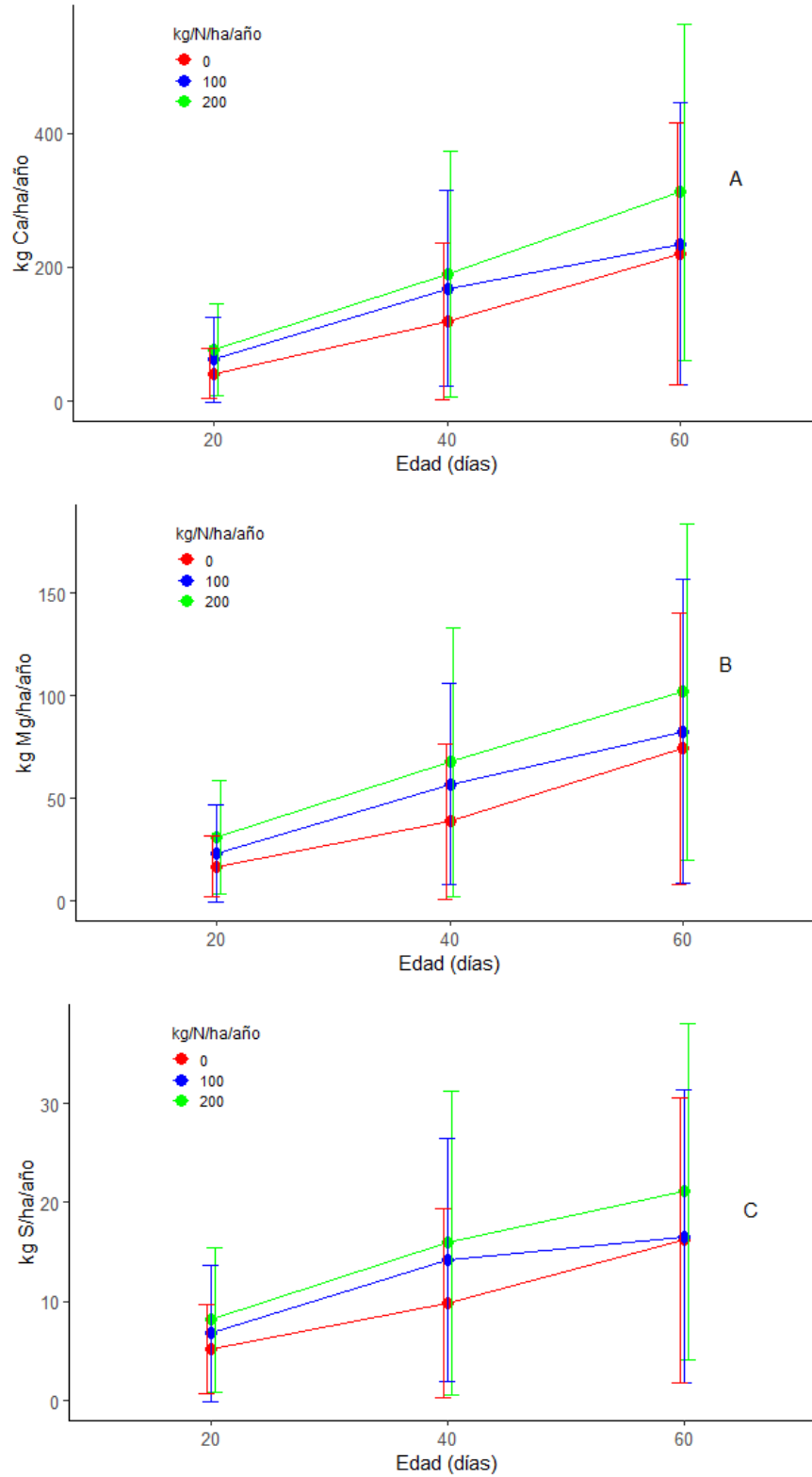


Figura 7. Extracción total de Ca (A), Mg (B) y S (C) de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

Porcentualmente las extracciones de Mg a través del ciclo en condiciones de 0 fertilización es un 23, 29 y 48% de 0-20, 20-40 y 40-60 días, respectivamente, mientras que en condiciones que se aplicaron 100 y 200 kg N/ha, se obtienen una distribución de 28, 40, 32, 30, 36 y 34% correspondientemente a las edades mencionadas. La planta tiene una extracción de Mg muy constante en los rangos de edades evaluados.

El azufre mostró una tendencia al aumento en su extracción en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados (Figura 7, C). Ese aumento representó un 31% al evaluarlo a una edad de 20 días y a dosis de 100 kg N/ha y un 58% a 200 kg N/ha, en dicha edad, por otro lado, a los 40 y 60 este incremento representó un 45 y 2% a 100 kg de N y un 62 y 30% a 200 kg N.

Las extracciones de S a 40 y 60 días con un nivel de fertilización de 0, 100 y 200 kg N/ha corresponde a 9,8, 14,2, 15,9 y 16,2, 16,5, 21,1 Kg S, respectivamente. Por otro lado, Cerdas-Ramírez (2018) reporta extracciones de 37 y 59 kg S a una edad de 49 días y con una fertilización correspondientemente de 100 y 200 kg/ha. La distribución porcentual de la extracción a través del ciclo del cultivo muestra que en condiciones de 0 fertilización se extrae un 32, 28 y 40% a la edad de 0-20, 20-40 y 40-60 días, respectivamente, en condiciones de 100 y 200 kg N/ha se reportan una distribución de 41, 45, 14, 39, 34 y 25% en el rango de edades mencionadas.

5.10.2. Micronutrientos

La extracción total del hierro presentó un aumento en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados (Figura 8A), este aumento correspondió a un 14% a los 20 días y a un nivel de fertilización de 100 y 34% a 200 kg N/ha en dicha edad. A los 40 y 60 días presentó un 31 y 42, y 15 y 24% a 100 y 200 kg N/ha, respectivamente. Por otro lado, la extracción total a través del ciclo representa un 19, 24 y 57% con condiciones de 0 fertilización y a una edad de 0-20, 20-40 y 40-60, mientras que a 100 kg N se obtiene un 20, 29 y 51%, finalmente a 200 kg N representa un 22, 27 y 51%, respectivamente según el rango de edad.

La extracción total de Fe corresponde a 988, 1295 y 1402 g a los 40 días con un nivel de 0, 100 y 200 kg N/ha, mientras que, a 60 días se extrae 2305, 2644 y 2858 g en los parámetros de fertilización mencionados, respectivamente. Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 620 g Fe a una edad de 50 días con condiciones de

0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 1600 y 1790 g de Fe, respectivamente.

La extracción total del manganeso presentó un incremento en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados (Figura 8, B), el aumento porcentual es de 17, 43 y -3% con 100 kg N/ha correspondientes a la edad de 20, 40 y 60 días, mientras que a 200 kg N representó un 55, 65 y 34% en el orden de edades mencionadas.

La extracción total de Mn encontrada a los 40 días y con un nivel de 0, 100 y 200 kg N ha⁻¹ correspondió un 1101, 1579, 1819 g, respectivamente, mientras que, a 60 días se obtiene 1514, 1466 y 2025 g en el orden de niveles de fertilización mencionados. Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 600 g Mn a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 1490 y 1710 g de Mn, respectivamente.

La distribución porcentual de la extracción a través del ciclo con 0 kg de N y a la edad de 0-20, 20-40 y 40-60 días representa un 33, 40 y 27% respectivamente, mientras que a 100 kg N y 200kg N, se obtiene un 40, 60 y 0%, y 38, 52 y 10% correspondientemente a las edades mencionadas. Esta distribución muestra que antes de los 40 días la planta tiene mayor capacidad de extracción de Mn.

La extracción de zinc mostró un gran cambio entre los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados (Figura 8, C), este cambio correspondió a un 42, 79 y 80%, y 100, 8 y 30% a la edad de 20, 40 y 60 días y a un nivel de 100 y 200 kg N/ha, respectivamente. Demostrando una mayor respuesta a la fertilización en edades tempranas.

La extracción total de Zn a los 40 correspondió a 339, 612 y 686 g Zn con los niveles de 0, 100 y 200 kg N/ha respectivamente, mientras que, a 60 días se registró una extracción de 657, 712 y 857 g Zn en los parámetros de fertilización mencionados. Por otro lado, Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 590 g Zn a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 1540 y 1640 g de Zn, respectivamente.

La distribución porcentual de la extracción total a través del ciclo muestra que, a la edad de 20 días y con los niveles de fertilización de 0, 100 y 200 kg N/ha representa un 23, 28 y

9%, mientras que, a 40 y 60 días representa un 30, 56, 14, 31, 49 y 20% en los niveles de fertilización mencionados, respectivamente.

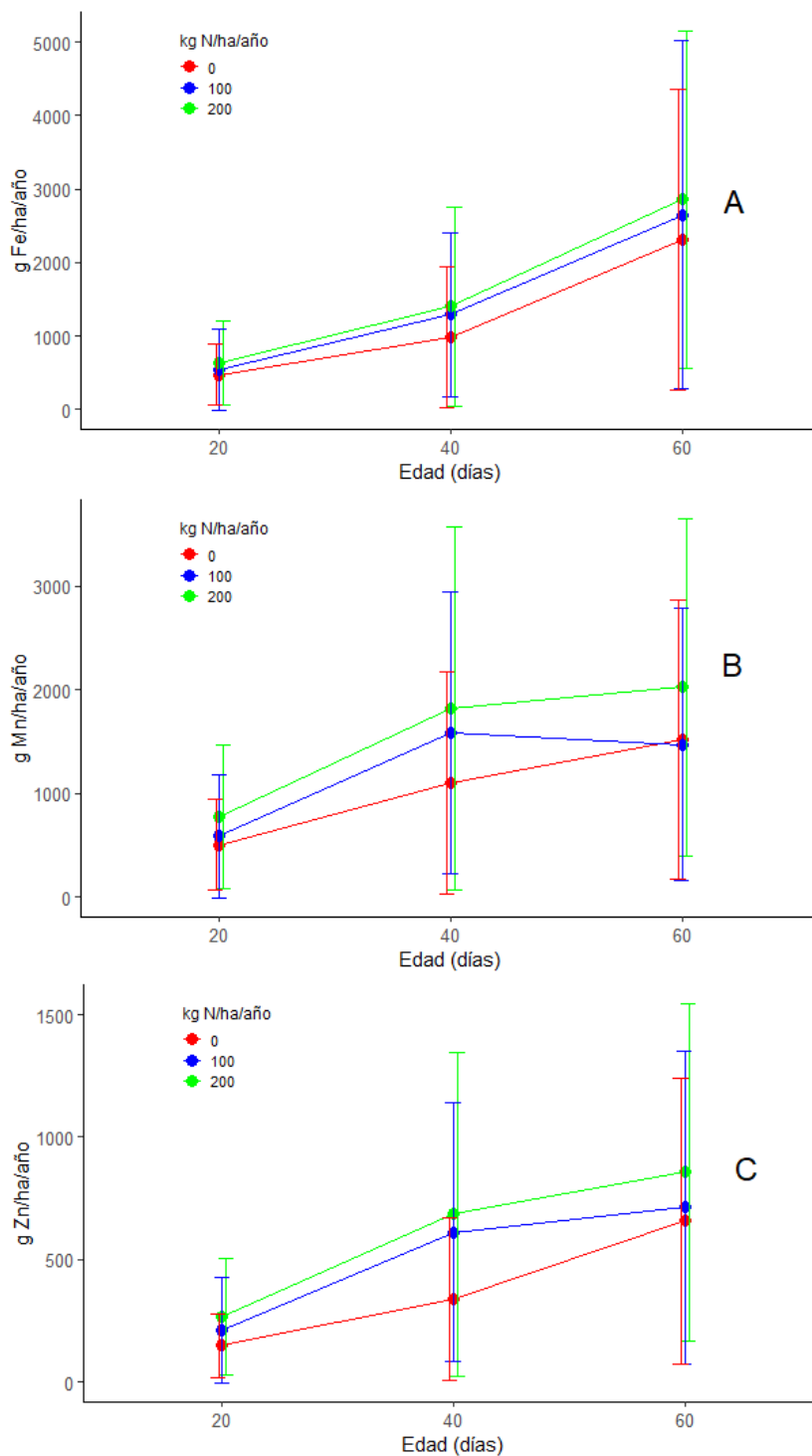


Figura 8. Extracción total de Fe (A), Mn (B) y Zn (C) de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

La extracción de cobre presentó una tendencia creciente en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados a través del ciclo evaluado (Figura 9A), este aumento correspondió a un 18 y 49 % a 20 días y con niveles de 100 y 200 kg N/ha respectivamente, mientras que a 40 y 60 días correspondió a un 25, 56, 8 y 30% en los niveles de fertilización mencionados, respectivamente.

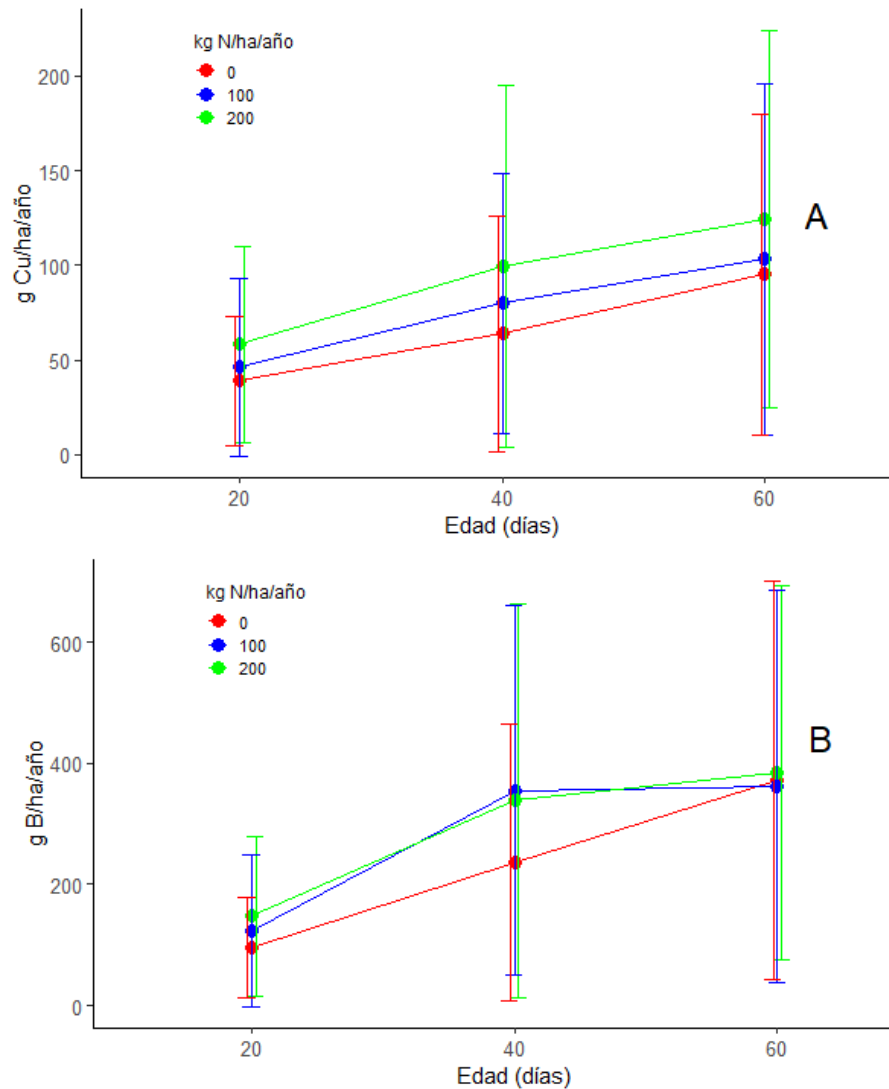


Figura 9. Extracción total de Cu (A) y B (B) de la *Tithonia diversifolia* a diferentes edades de cosecha y niveles de fertilización nitrogenada.

Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 100 g Cu a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 310 y 330 g de Cu, respectivamente. En la

presente investigación se encontraron valores de 64, 80 y 99 g, y 95, 103 y 124 g Cu a la edad de 40, 60 días y a un nivel de 0, 100 y 200 kg N/ha, respectivamente.

La distribución porcentual de la extracción total a través del ciclo en condiciones de 0 fertilización es de 41, 26 y 33 a 0-20, 20-40 y 40-60 días respectivamente, mientras que, a 100 kg N/ha se obtuvo un 45, 32 y 23 %; finalmente a 200 kg N/ha, la distribución fue de 47, 33 y 20 % a las edades mencionadas, respectivamente.

Las extracciones de boro fueron mayores en los tratamientos fertilizados respecto a los no fertilizados (Figura 9, B), este incremento correspondió a un 29 y 54, y 50 y 43% con los niveles de 100 y 200 kg N/ha y en las edades de 20 y 40 días, respectivamente. A la edad de a 60 días la respuesta fue de -3 y 4% en los niveles de fertilización mencionados, respectivamente.

La extracción total de B en las edades de 40 y 60 días en los niveles de fertilización de 0, 100 y 200 kg N/ha correspondió a 235,9, 355,0, 338,1, 371,6 361,5 y 385,3 g, respectivamente. En una investigación realizada por Botero-Londoño et al. (2019) mencionan extracciones de 310 g B a una edad de 50 días con condiciones de 0 fertilización, sin embargo, al aplicar una fertilización de N:P₂O₅:K₂O (94:43:34 y 209:83:78) obtuvieron valores de 820 y 930 g de B, respectivamente.

La distribución porcentual de las extracciones totales de B durante el ciclo, con niveles de 0 fertilización correspondió a un 26, 37 y 37% a la edad de 0-20, 20-40 y 40-60 días respectivamente, mientras que, a 100 kg N y 200 kg N fueron de un 34, 64 y 2%, y 38, 50 y 12% en las edades mencionadas, respectivamente.

5.11. Plan de fertilización

En las fincas ganaderas de Costa Rica, particularmente las lecheras, se realizan fertilizaciones de pastos, lo cual permite que los mismos no presenten deficiencias nutricionales, sin embargo, esta práctica se realiza sin tener claro el requerimiento de la planta, lo que conlleva en ocasiones que se apliquen solo dosis nitrogenadas (Salas y Cabalceta 2010).

5.11.1. Dosis

Definir la dosis a utilizar corresponde al primer paso para elaborar una fertilización eficiente. Para determinar dicha dosis se debe tomar en cuenta lo que el cultivo requiere, lo que hay en el suelo y la eficiencia de la fertilización (Bertsch 1998). Los requerimientos de la *T. diversifolia* cuantificados bajo las condiciones de la presentes investigación y correspondientes a las dosis de fertilización de 100 kg N/ha se muestran en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Extracción de nutrientes de la *Tithonia diversifolia* según edades de corte y un nivel de fertilización de 100 kg N/ha.

Nutriente	Extracción (kg/ha/año)	
	40 días	60 días
N	206	217
P	27	25
K	213	185
Ca	168	234
Mg	57	83
S	14	16
Mn	1,6	1,5
Fe	1,3	2,6
Zn	0,6	0,7
Cu	0,08	0,1
B	0,4	0,4

Esta planta como se ha mencionado anteriormente se le suele dar un manejo de 0 fertilización o una fertilización orgánica, sin embargo, en el Cuadro 20 se muestra su capacidad de extracción en las condiciones del presente ensayo. La extracción es proporcional a la

producción de materia seca del forraje, en este caso como se citó anteriormente la misma fue afectada por un déficit hídrico. Rivera (2008) evaluó la exportación de nutrientes (fracción de la absorción que es removida del potrero en su totalidad) de Kikuyo (*Kikuyochloa clandestinum*), Toledo (*Brachiaria brizantha* cv. Toledo) y Estrella Africana (*Cynodon nlenfluensis*), los cuales se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Extracciones de pastos de piso utilizados en la ganadería de Costa Rica.

Elemento	Kikuyo	Toledo	Estrella
	kg/ha/año		
N	321,7	278,2	264,8
P	43,9	49,5	42,5
K	540,5	617,5	325,0
Ca	43,7	68,8	47,7
Mg	36,9	65,3	22,6
S	30,4	25,7	33,1
Mn	0,96	2,39	1,33
Fe	9,65	2,92	1,92
Zn	0,56	0,84	0,82
Cu	0,16	0,19	0,29
B	0,06	0,11	0,03
Biomasa	12 992	25 213	14 435

Fuente: Rivera (2008).

La *Tithonia diversifolia* presentó menores producciones de kg MS (Cuadro 13) que lo mencionado por Rivera (2008) para los pastos del Cuadro 21, sin embargo, al observar los

valores de extracción del botón de oro (Cuadro 20) no se aleja del todo de estos pastos y sobresale sus valores de extracción de Ca y Mg los cuales son superiores. La concentración foliar de los pastos de Ca y Mg se consideran óptimos los rangos de 0,43-0,80 y 0,20-0,40% (CIA 2002), respectivamente. El botón de oro mostró concentraciones foliares de 1,9-2,3% de Ca y 0,6-0,8% de Mg.

El segundo paso en el cálculo de dosis consiste en interpretar lo expuesto en los Cuadros 10 y 11, sobre las características nutricionales del suelo, para conocer la disponibilidad de los nutrientes. Bertsch (1998) menciona que la comparación de los datos del análisis del suelo en términos de kg nutriente/ha es de utilidad para adquirir perspectiva, sin embargo, aunque la solución extractora presente buena correlación, el valor del elemento no necesariamente es el mismo que la planta puede tomar del suelo. Por ende, en este caso las características del suelo se van a tomar en cuenta para diagnosticar problemas de deficiencias o desbalance de algún nutriente y no inducir mayores problemas nutricionales del suelo.

A partir del orden que se debe seguir para interpretar un análisis de suelo mencionadas por Méndez y Bertsch (2012), el suelo no presenta problemas de acidez. Por otro lado, el análisis de las bases intercambiables consiste en valores absolutos (Cuadro 10) y las relaciones entre estas, la cuales se observan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Relaciones de las bases catiónicas en el suelo de la finca La Florita.

Relaciones	Aceptable	Actual
Ca/K	0-25	180
Mg/K	2,5-15	107
Ca/Mg	2-5	1,7
Ca+Mg/K	10-40	336

Los valores absolutos de las bases, en especial el Ca y Mg son los esperables debido a que, son características de suelos aluviales, por otro lado, el K se encuentra inferior al valor crítico (Cuadro 10) lo cual no es común en la zona, sin embargo, si se esperan niveles bajos debido a las características de las arcillas fijadoras. Por otro lado, las relaciones entre bases evidencia problemas del potasio respecto al Ca y Mg (Méndez y Bertsch 2012), lo cual coincide

con lo mostrado en el Cuadro 22, a raíz de esta característica se ve afectado la absorción de K tanto por un efecto de poca disponibilidad como por un antagonismo de las otras bases.

En cuanto a los demás nutrientes, el P es el único que se encuentra inferior al valor crítico (Cuadro 10). En la región de estudio, Méndez y Bertsch (2012), reportan un 50-75% de las muestras evaluadas son deficientes en P, característica atribuible principalmente a los altos valores de Ca, lo que conlleva a formación de fosfatos de calcio. El valor de materia orgánica del suelo es de 2,5% (Cuadro 11), es un valor relativamente bajo, lo cual es relevante debido a los aportes de nutrientes que realiza esta fracción, al igual que su función en la retención de agua y estructura del suelo, entre otras (IPNI 2003).

5.11.2. Fuentes de fertilizantes

La selección de las fuentes a utilizar es otro componente de un plan de fertilización, la cual pueden ser de índole inorgánico u orgánico, la primera es la fuente más utilizadas, sin embargo, debe tomarse en cuenta que según las composición de los mismos pueden acidificar en mayor medida o presentar una menor eficiencia según las condiciones ambientales (Bertsch 1998; IPNI 2003). La principal limitante del uso de fuentes orgánicas es las grandes cantidades que se deben aplicar para satisfacer la demanda de nutrientes. Para el presente estudio se recomienda una combinación de fuentes, con el fin de generar mejoras en materia orgánica, además de aprovechar los purines generados en la finca.

5.11.3. Época de aplicación

El manejo de un cultivo perenne involucra una demanda de nutrientes durante todo el año, sin embargo, la época de aplicación sigue siendo un aspecto fundamental a tomar en cuenta, debido a que, es imprescindible la humedad en el suelo para que el fertilizante reaccione, pero, al igual que la escasez cuando hay excesos se da una afectación en la eficiencia, debido a, factores como la volatilización y la capacidad de lixiviación de algunos nutrientes (Bertsch 1998; IPNI 2003). (Rivera 2008) menciona que una limitante de los excesos de humedad en el suelo consiste en una disminución del crecimiento del forraje, por ende, si se realizan fertilizaciones no se tendrá la respuesta esperada en el crecimiento. En la Figura 10 se muestra el comportamiento pluvial de la finca La Florita.

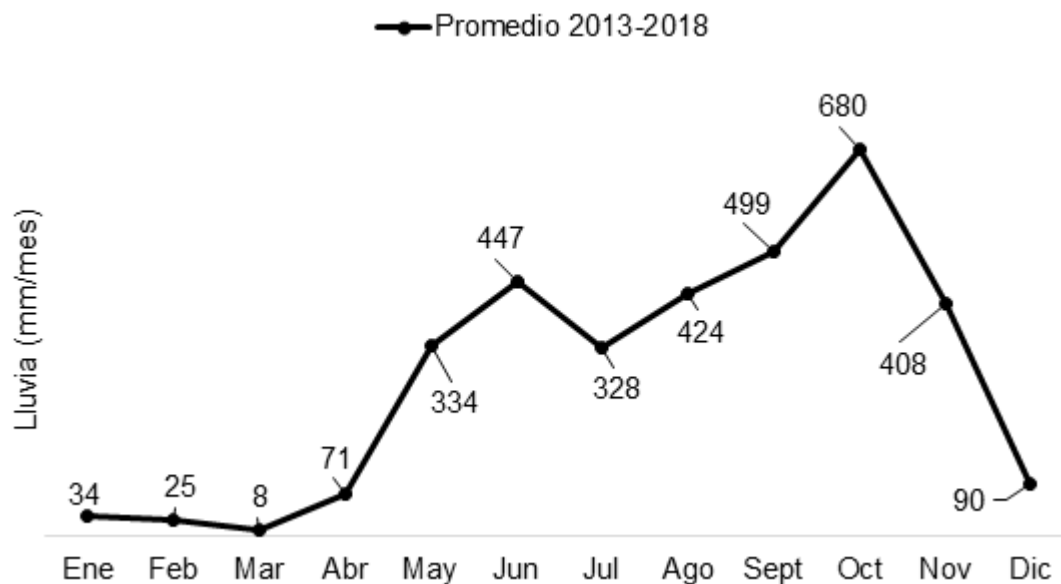


Figura 10. Promedio del régimen pluvial del año 2013-2018 de la finca La Florita expresado en mm/mes.

Fuente: Datos recolectados en la finca La Florita

5.11.4. Estructuración de la fertilización

El plan de fertilización sugerido acorde a las necesidades del cultivo, las características del suelo y las condiciones ambientales (precipitación) presentes en la finca, se puede observar en el Cuadro 21.

Cuadro 23. Plan de fertilización sugerido para la *Tithonia diversifolia* en las condiciones del ensayo.

Mes	Fórmula del fertilizante										kg nutriente/ha							
	kg/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	B ₂ O ₃	CaO	S	Zn	N	P	K	Mg	B	Ca	S	Zn	
Enero	*1500	6	2,25	3,6	1,7	0,03	2,8	0,2	0,02	90	14,8	44,8	15,3	0,15	29,8	3	0,3	
Febrero	*1500	6	2,25	3,6	1,7	0,03	2,8	0,2	0,02	90	14,8	44,8	15,3	0,15	29,8	3	0,3	
Marzo	*1500	6	2,25	3,6	1,7	0,03	2,8	0,2	0,02	90	14,8	44,8	15,3	0,15	29,8	3	0,3	
Abril	100			60								49,8						
Mayo	90	18	11	6,3	5	0,4		6,6		16,2	4,4	4,7	2,7	0,11		5,9		
Junio	90	46								41,4								
Julio	50	10	30	10						5	6,6	4,2						
Agosto	100			60								49,8						
Septiembre	**100	10	30	10						10	13,2	8,4						
Noviembre	90	18	11	6,3	5	0,4	6,6			16,2	4,4	4,7	2,7	0,11		5,9		
Total										358,8	73,1	256,0	51,3	0,7	89,5	20,8	0,9	

*Corresponde a purines expresados en L/ha

** corresponde a una aplicación extra de P.

El plan de fertilización sugerido para la finca La Florita consiste en parte orgánica e inorgánica (Cuadro 23), para la primera se recomienda su aplicación en los meses de menor precipitación con el objetivo de un aporte de nutrientes y paralelamente, se ofrezca agua al cultivo y así obtener mejores producciones en esa época, además, que al realizar en momentos de poca disponibilidad pluvial se disminuye la posibilidad de contaminación de aguas subterráneas (Arguedas-Sanchez 2014), sin embargo, alrededor del 50% del N presente en los purines es de índole amoniacal (Arguedas-Sanchez 2014; Demanet et al. 1999) por lo que se va a presentar cierto nivel de volatilización debido a la época, y a la vez, dicha época da el tiempo adecuado para que se mineralice el P, estando disponible al momento de la entrada del periodo lluvioso.

Los purines son fuentes importantes de K, debido a que, los animales desechan (excretas y orina) al sistema alrededor del 85% K consumido (Cabalceta 1999), por otro lado, como se mencionó anteriormente el suelo presenta características de deficiencia por los factores ya mencionados. El tipo de suelo de la finca tiene una alta capacidad fijadora, hasta un 50% y en promedio un 33% (Henríquez et al. 1994), por lo tanto, toma mucha importancia este nutriente, además se busca mejorar las relaciones entre bases, lo cual va de la mano que no se cumpla los requerimientos del cultivo de Ca, sin embargo, al ser un suelo alto en el mismo, no se esperan efectos adversos, sino beneficiosos al contemplar mejores valores de Ca/K.

Las aplicaciones inorgánicas de nitrógeno se distribuyen en los primeros meses de lluvias y al final de este periodo. Con el fin de maximizar su eficiencia y reducir las pérdidas por lixiviación conllevando efectos adversos tanto para el cultivo como para el medio ambiente. Se recomiendan aplicaciones de P para mejorar la disponibilidad para la planta, debido a que, como se mencionó anteriormente se obtuvieron valores de extracción por debajo de lo reportado para esta planta. El fósforo se distribuye a través de la época lluviosa. La planta presente asociaciones con micorrizas pero, esto no indica que no se deba fertilizar, sino, que se espera obtener una mayor eficiencia del P (Martín y Rivera 2015).

Generalmente en forrajes se utilizan las fertilizaciones después de las cosechas, pero, como se mencionó anteriormente influyen una serie de factores que pueden reducir la eficiencia, sin embargo, si se adapta la época y la edad del cultivo, en lo que respecta a la *Tithonia diversifolia* se recomienda fertilizaciones cercanas a los 10-15 días postcosecha,

debido a que la planta en las diferentes curvas de extracción de nutrientes se observar una mayor demanda de 20-40 días de edad.

6. CONCLUSIONES

Los niveles de fertilización nitrogenada no influyeron en los valores obtenidos de MS y las relaciones de H:T de la *T. diversifolia*, esta última variable presentó en promedio valores superiores a 1 en las edades evaluadas, siendo este un parámetro de importancia en los forrajes.

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

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 d de edad, lo cual puede orientar que la planta llega a su óptimo desarrollo cercano a esta edad, en las condiciones del presente estudio.

Los índices de crecimiento, demostraron que ese forraje en condiciones de 0 kg de fertilización nitrogenada su crecimiento es más lento, lo cual se traduce, en que le tomaría a la planta mayor edad llegar al crecimiento obtenido cuando se usan dosis nitrogenadas.

La exportación de nutrimentos del botón de oro evidenció la afinidad hacia N, K y Ca en lo que se refiere a macronutrimentos y al Mn respecto a los micronutrimentos. A partir de esta información generada se evidencia la necesidad de contar con un plan de fertilización específico para dicho forraje, el cual parece no adaptarse las características de extracción de gramíneas y leguminosas, las cuales han sido más estudiadas.

La eficiencia en cuanto a la fertilización nitrogenada se encuentra entre valores de 100 y < 200 kg N/ha/año en las características del presente estudio, demostrando una respuesta menor a este nutriente a lo reportado en otras latitudes para este cultivo.

7. RECOMENDACIONES

La actual investigación contempla período lluvioso y no lluvioso, sin embargo, se recomienda que en trabajos futuros se separen ambas épocas para disminuir las barras de error de los resultados.

El botón de oro se encuentra distribuido en gran parte del país, por ende, se recomienda que se realicen trabajos similares en otras zonas para tener mayor claridad sobre el potencial y las absorciones de nutrimentos de este cultivo.

Con el fin de poder comparar con otras latitudes e incluso con investigaciones en nuestro país, es de suma importancia tener una caracterización genética del material usado en nuestro país, debido a que pueden ser otros ecotipos que varíen en sus características.

En esta investigación se evidenció la rusticidad y la tolerancia a la sequía que presenta el material, sin embargo, se considera que estudios acerca de esta tolerancia y respuesta del cultivo a niveles de riego variables son de gran importancia para el sector pecuario del país.

8. LITERATURA CITADA

- Álvarez, A; Herrera, R.; Díaz, L; Noda, A. 2013. Influencia de las precipitaciones y la temperatura en la producción de biomasa de clones de *Pennisetum purpureum*. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 47(4):413-417.
- Araya, M; Boschini, C. 2005. Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la meseta central de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 16(1):37-43.
- Arce-Cordero, JA. 2008. Práctica dirigida realizada en la Finca de Ganado Lechero Estabulado «La Georgina» ubicada en Vara Blanca de Heredia. Práctica dirigida Lic. Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 51 p.
- Arguedas-Sanchez, S. 2014. Práctica dirigida en la finca de ganado lechero de la Asociación Roblealto Pro-Bienestar del Niño. Práctica dirigida Lic. Barva de Heredia, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 119 p.
- 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.
- Aye, P. 2016. Comparative nutritive value of *Moringa oleifera*, *Tithonia diversifolia* and *Gmelina arborea* leaf meals (en línea). American Journal of Food and Nutrition 6(1):23-32. DOI: <https://doi.org/10.5251/ajfn.2016.6.1.23.32>.
- Barraza, FV.; Fischer, G; Cardona, CE. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia (en línea). Agronomía Colombiana 22(1):81-90. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823011>.
- 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.
- Bertsch. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1a ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 307 p.

- Betancourt-Yanez, P; González-Ríos, J; Figueroa-Sandoval, B; González-Cossio, F. 1998. Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Terra latinoamericana* 16(3):231-237.
- Bonadeo, E; Moreno, I; Bongiovanni, M; Marzari, R; José, M; Gorrioz, G. 2017. Principios generales El sistema suelo-planta (en línea). 1a ed. Argentina, UniRío Editora. 323 p. Disponible en www.unrc.edu.ar/unrc/comunicacion/editorial/.
- Boschini, C; Dormond, H; Castro, A. 1998. Producción de biomasa de la morera (*Morus alba*) en la mesera central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 9(2):31-40.
- Boschini, C; Dormond, H; Castro, Á. 1999. Respuesta de la morera (*Morus alba*) a la fertilización nitrogenada, densidades de siembra y a la defoliación. *Agronomía Mesoamericana* 10(2):7-16. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v10i2.17460>.
- Botero-Londoño, J; Gómez-Carabali, A; Botero-Londoño, M. 2019. Nutrient absorption in *Tithonia diversifolia*. *Universitas Scientiarum* 24(1):33-48. DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC24-1.nait>.
- Cabalчета, G. 1999. Fertilización y Nutrición de forrajes de altura. *In* XI Congreso Nacional Agronómico / III Congreso Nacional de Suelos. s.l., s.e. p. 239-254.
- Campos-Granados, C. 2018. Digestibilidad de la FDN y su impacto en el contenido energético de los forrajes. *In* III Congreso Forrajero. Costa Rica, s.e.
- Castells, X. 2012. Tipología de los residuos en orden a su reciclaje: Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 90 p.
- Castillo-Mestre, R; Betancourt-Bagué, T; Toral-Pérez, O; 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.
- Castillo-González, AM; Hernández-Maruri, JA; Avitia-García, E; Pineda-Pineda, J; Valdéz-Aguilar, LA; Corona-Torres, T. 2011. Macronutrient extraction in banana «Dominico» (*Musa spp.*) (en línea). *Phyton. Revista Internacional de Botánica Experimental* 80(1):65-72. Disponible en <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-83455219660&partnerID=40&md5=6b182f87e3ec3328a6e2ef2c72d01e97>.

- Cerdas-Ramírez, R. 2015. Comportamiento productivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*) con varias dosis de fertilización nitrogenada (en línea). *Intersedes XVI(33):124-145*. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v16n33/a07v16n33.pdf>.
- Cerdas-Ramírez, R. 2018. Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Intersedes 19(39):172-187*.
- Cerdas, R; Vallejos, E. 2012. Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica (en línea). *Revista Intersedes XIV(26):6-22*. Disponible en <http://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v14n28/a05v14n28.pdf>.
- CIA (Centro de Investigaciones Agronomicas). 2002. Interpretación de análisis foliar. Molina, E; Meléndez, G. Costa Rica. (en línea). <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Tablas%20Interpretaci%3%b3n%20An%3%a1lisis%20Foliar.pdf>
- CIA (Centro de Investigaciones Agronomicas, Costa Rica)/ IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica)/ INTA (Instituto Nacional de Innovación de Transferencia en Tecnología, Costa Rica). 2016. Geoportal de suelos (en línea, sitio web). Disponible en <http://www.suelos.cr/#ordenes>.
- Dambreville, A; Pierre-Éric, L; Normand, F; Guedon, Y. 2015. Analysing growth and development of plants jointly using developmental growth stages. *Annals of Botany 115(1):93-105*. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu227>.
- Del Pozo, PP; Herrera, RS; García, M; Cruz, AM; Romero, A. 2001. Análisis del crecimiento y desarrollo del pasto estrella con y sin adición de fertilizante nitrogenado (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola 35(1):51-58*. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193014947010>.
- Demagnet, R; Aguilera, M; Mora, M. 1999. Efecto de la aplicación de purines sobre el sistema suelo-planta. *Frontera Agrícola 5(1 y 2):87-94*.
- Di Benedetto, A; Tognetti, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas : su aplicación a cultivos intensivos. *Rev. investig. agropecu. 42(3):258-282*.
- Elizondo, J; Boschini, C. 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana 12(737):181-187*.

- Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Wiley, New York.
- Epstein, E. 1999. Silicon. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 50: 641–664.
- Evans, H. J; Sorger, G.J. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Annu. Rev. Plant Physiol. 17: 47–76.
- Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 1 ed. Turrialba, Costa Rica, IICA. 309 p.
- Gallego-Castro, LA; Machena-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras (en línea). Agronomía Mesoamericana 25(2):393. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15454>.
- Gallego-Castro, LA; Mahecha-Ledesma, L; 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. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Luis_Gallego-Castro/publication/276266842_Crecimiento_y_desarrollo_de_Tithonia_diversifolia_Hemsl_A_Gray_en_condiciones_de_tropico_alto/links/592b1034458515e3d46c9501/Crecimiento-y-desarrollo-de-Tithonia-diversifolia-H.
- Gallego-Castro, LA; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2016. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. (en línea). Agronomía Mesoamericana 28(1):213. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671>.
- Gallego-Castro, LA; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2017. Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas holstein con *Tithonia diversifolia* (en línea). Agronomía Mesoamericana 28(2):357. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>.
- García, F; Micucci, F; Rubio, G; Rufo, M; Daverede, I. 2002. Fertilización de forrajes en la Región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos (en línea). Avances En El Manejo De La (1417):1-61. Disponible en <http://www.agro.uba.ar/~garbulsk/PublicacionPasturas1Mar02.pdf>.
- González-Castillo, J; Hahn von-Hessberg, C; 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.

- González-Torres, A; Figueroa-Viramontes, U; Preciado-Rangel, P; Núñez-Hernández, G; Luna-Ortega, G; Antuns-Grijalva, O. 2016. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes (en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(2):301-309. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000200301.
- González, D; Ruiz, TE; 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.
- Gualberto, R; Souza Júnior, O; Costa, RN; Braccialli, DC; 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.
- Henríquez, C; Bertsch, F; Cabarceta, G. 1990. Efecto de la variación del Potasio disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- Henríquez, C; Bornemisza, E; Bertsch, F. 1994. Función de potasio en Vertisoles, Andisoles, Inceptisoles y Ultisoles de Costa Rica. *Agronomia costarricense* 18(2):133-140.
- Holguin, V; Ortiz, S; Velasco, N; Mora, J. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca. *Red Med Vet Zoot.* 62(2):57-72. DOI: <https://doi.org/10.15446/RFMVZ.V62N2.5199>.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute, Colombia). 2003. Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. 1 ed. Bernal, J; Espinosa, J (eds.). International Plant Nutrition Institute (IPNI). 93 p.
- La, OO; González, H; Orozco, A; Castillo, Y; Ruiz, O; Estrada, A; Ríos, F; 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.
- Lezcano, Y; Soca, M; Ojeda, F; Roque, E; Fontes, D; Montejo, IL; Santana, H; Martinez, J; 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.

- López-Hidalgo, HB; Martínez-González, JC; Salcán-Guamán, HC; Gusqui-Vilema, LW; Balseca-Guzmán, DG; Cienfuegos-Rivas, EG. 2017. Crecimiento de *Centrosema pubescens* Benth bajo fertilización nitrogenada más azufre en Ecuador. *CienciaUAT* 12(1):84-95. DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v12i1.826>.
- Mahecha, L; Escobar, JP; Suárez, JF; Restrepo, LF. 2007. *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (botón de oro) como suplemento forrajero de vacas F1 (Holstein por Cebú) (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 19(02). Disponible en <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd19/2/mahe19016.htm>.
- Martín, GM; Rivera, R. 2015. Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: El Maíz (en línea). *Cultivos Tropicales* 36:34-50. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500004.
- Mathews, BW; Miyasaka, SC; Tritschler, JP. 2004. Mineral Nutrition of C 4 Forage. s.l., s.e. p. 217-265.
- Medina, MG; García, DE; González, ME; 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.
- Mengel, K; Kirkby, E.A. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 849 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>
- Mejía-Díaz, E; Mahecha-Ledesma, L; Angulo-Arizala, J. 2016. *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. (en línea). *Agronomía Mesoamericana* 28(1):289. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.22673>.
- Mendes-Reis, M; De Paiva-Ferreira, G.; Roncha, L.; Moura-Junior, R.; Tuffi-Santos, L.; Arruda-Sampaio, R; Goncalves-Oliviera, F; 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.
- Méndez, JC; Bertsch, F. 2012. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 108 p.

- Méndez, Y; Suárez, FO; Verdecia, DM; Herrera, RS; Labrada, JA; Murillo, B; Ramírez, JL. 2018. Caracterización bromatológica del follaje de *Moringa oleifera* en diferentes estadios de desarrollo (en línea). Cuban Journal of Agricultural Science 52(3):1-11. Disponible en <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1561/1/PUB-ARTICULO-4155.PDF>.
- Molina, E; Hernán, J. 2012. Fertilización con N, P, K y S, y Curvas de absorción de nutrimentos en arroz var. CFX 18 en Guanacaste. Agronomía costarricense 36(1):39-51.
- Molina, E; Salas, R; Castro, A. 1993. Curva de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Alajuela. Agronomía Costarricense 17(1):67-73.
- Montejo-Martínez, D; Casanova-Lugo, F; García-Gómez, M; Oros-Ortega, I; Díaz-Echeverría, V; Morales-Maldonado, ER. 2018. Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. Agronomía Mesoamericana 29(2):325-341. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>.
- Navarrete, R. 2005. Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de campo. (en línea). s.l., s.e. 169-178 p. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5242/1/CPA-2005-T061.pdf>.
- Olabode, O.; Ogunyemi, S; Akanbi, W.; Adesina, G.; Babajide, P. 2007. Evaluation of *Tithonia diversifolia* (Hemsl .) A Gray for Soil Improvement (en línea). World Journal of Agricultural Sciences 3(4):503-507. DOI: <https://doi.org/10.1097/SLE.0b013e3182a83493>.
- Pacheco, BI. 2013. Curva de absorción de nutrimentos en cebolla *Allium cepa* cv. Aquarius y ajo *Allium sativum* cv. Criollo. s.l., Universidad de Costa Rica. 75 p.
- Palma-López, DJ; García, SS; Olán, JJO; Narcía, AT; Espinoza, LDCL; Cruz, JZ; Bello, AR; Martel, M a C. 2002. Sistema Integrado Para Recomendar Dosis De Fertilizacion En Caña De Azucar (Sirdf). Terra 20(1):347-358.
- Pastrana, I; Reza, S; Espinosa, M; Suárez P, E; Díaz, E. 2011. Efecto de la fertilización nitrogenada en la dinámica del óxido nitroso y metano en *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 12(2):134-142. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:223.

- Pereira, M; Gándara, L; Gándara, F. 2018. Acumulación de biomasa aérea de *Tithonia diversifolia*: efectos de la frecuencia de corte y la fertilización Producción y Utilización de Pasturas. In Congreso Argentino de Producción animal. Mar de la plata, Asociación Argentina de Producción Animal. p. 2.
- Pérez, A; Montejo, I; Iglecias, J; López, O; Martín, D; García, D; Milian, I; Hernandez, A. 2009. *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A . Gray. Pastos y Forrajes 32(1):1-5.
- Poorter, H. 2002. Plant Growth and Carbon Economy (en línea). *Encyclopedia of Life Sciences*. . s.l., Nature Publishing Group. 1-6. p. DOI: <https://doi.org/10.1038/npg.els.0003200>.
- Poorter, H; van de Vijver, C; Boot, RGA; 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00010275>.
- Ramírez-Rivera, U; Sanginés-García, JR; Escobedo-Mex, JG; Cen-Chuc, F; Rivera-Lorca, JA; Lara-Lara, PE. 2010. Effect of diet inclusion of *Tithonia diversifolia* on feed intake, digestibility and nitrogen balance in tropical sheep. *Agroforestry Systems* 80(2):295-302. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9320-0>.
- Ramírez, J.; Herrera, R.; Leonard, I; Cisneros, M; Verdecia, D; Álvarez, Y. 2011. Relación entre factores climáticos, rendimiento y calidad de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT 169 en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(3):293-297.
- Reis, MM; Santos, LDT; Pegoraro, RF; Colen, F; Rocha, LM; Ferreira, GA de P. 2016. Nutrition of *Tithonia diversifolia* and attributes of the soil fertilized with biofertilizer in irrigated system (en línea). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(11):1008-1013. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p1008-1013> Nutrition.
- Restelatto, R; Pavinato, PS; Sartor, LR; Einsfeld, SM; Baldicera, FP. 2015. Nitrogen Efficiency and Nutrient Absorption by a Sorghum-Oats Forage Succession. *Advances in Agriculture* 2015:1-12.
- Rincón, Á; Ligarreto, GA; Sanjuanelo, D. 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana* 25(2):264-272.

- Rivera, GA. 2008. Curvas de absorción de nutrimentos durante el establecimiento de potreros: Absorción total de nutrimentos y efecto de las excretas, durante el Pastoreo Rotacional con Ganado Lechero, en los pastos Kikuyo (*Kikuyochloa clandestinum*), Estrella Africana (*Cynodon nlenfuensis*). Tesis MSc. Costa Rica. Universidad de Costa Rica. 89 p.
- Rivera, JE; Chará, J; Gómez-Leyva, J.; Ruíz, T; Barahona, R. 2018. Variabilidad fenotípica y composición fitoquímica de *Tithonia diversifolia* A . Gray para la producción animal sostenible. *Livestock Research for Rural Development* 30(12).
- Rodríguez, I. 2017. Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal (en línea). *Livestock Research for Rural Development* 29(63). Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/idal29063.html>.
- Rodríguez, I; Padilla, C; Ojeda, M. 2019. Características de la germinación de la semilla gámica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y su comportamiento en condiciones de vivero. *Livestock Research for Rural Development* 31(5).
- Rojas-Bourrillon, A; 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.
- Romero, MO; Galindo, OA; Murgueito, RE; Calle, DZ. 2014. First experiences in the spread of boton oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) from planting seeds for intensive systems sylvopastoral in Colombia (en línea). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(3):525-528. Disponible en <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-8492060528&partnerID=40&md5=6f6bcea58bd5da0fbb775360ade0fff7>.
- Ruiz, TE; Febles, G; Díaz, H. 2012. Distancia de plantación, frecuencia y altura de corte en la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia* colecta 10 durante el año. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 46(4):423-426.
- Ruiz, TE; Febles, G; Torres, V; González, J; Achang, G; Sarduy, L; 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.
- Saavedra-Porras, SY. 2016. Fenología y fisiología de semillas de Boton de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (en línea). s.l., Universidad Nacional de Colombia. 61 p. Disponible en

<http://www.bdigital.unal.edu.co/55663/>.

Salas-Camacho, RE; Hernández-Salas, JE. 2008. Excretas De Lechería: ¿Un Desecho O Un Subproducto?(en línea). *In* Congreso Nacional Lechero. San Carlos, Costa Rica, s.e. p. 13. Disponible en http://www.proleche.com/recursos/documentos/congreso2008/Excretas_de_lecheria_Un_desecho_o_un_subproducto-Jorge_Hernandez_Rafael_Salas.pdf.

Salas, RE; Cabalceta, CG. 2010. Manejo del Sistema Suelo – Pasto: partida para la producción de forrajes DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Salazar-Sperberg, F. 2012. Manejo y utilización de purines de lecherías (en línea). *In* Consorcio Lechero. Chile, s.e. p. 60. Disponible en <https://www.consorcirolechero.cl/chile/docs/manejo-purines-seminario-consorcio-lechero.pdf>.

Salazar, F.; Dumont, J.; Santana, M.; Pain, B.; Chadwick, D.; Owen, E. 2003. Prospección del manejo y utilización de efluentes de lecherías en el sur de Chile (en línea). *Archivos de medicina veterinaria* 35(2). Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2003000200009.

Sanabria-Celis, E; Avila-Carrillo, I. 2015. Producción de follaje de la especie botón de oro (*Tithonia diversifolia*) utilizando 5 técnicas de siembra con fines de alimentación animal. s.l., Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 59 p.

Sancho, H. 1999. Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. *INPOFOS. Informaciones agronómicas* 36 (11).

Savón, L; Mora, LM; Dihigo, LE; Rodríguez, V; Scull, I; Hernández, Y. 2008. Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento-ceba (en línea). *Zootecnia Tropical* 26(3):387-390. Disponible en <http://www.bioline.org.br/pdf?zt08071>.

Sharrock, RA; Sinclair, FL; Gliddon, C; Rao, IM; Barrios, E; Mustonen, PJ; Smithson, P; Jones, DL; Godbold, DL. 2004. A global assessment using PCR techniques of mycorrhizal fungal populations colonising *Tithonia diversifolia* (en línea). *Mycorrhiza* 14(2):103-109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0243-8>.

Silva, J; Uchida, R. 2000. Essential Nutrients for Plant Growth : s.l., s.e. p. 31-55.

- Soledad-Hernández, M; Casa, A; Martínez, O; Galvis, J. 1995. Análisis y estimación de parámetros e índices de crecimiento del árbol de Maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K.) a primera floración. *Agronomía Colombiana* 12(1):182-191.
- Sotomayor-Alvarez, R; Chura-Chuquija, J; Calderon-Mendoza, C; Sevilla-Panizo, R; 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.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2002. *Water and Plant Cells* (en línea). s.l., Sinauer Associates. p. 33-34 DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>.
- Taiz, L; Zeiger, E; Max-Moller, I; Murphy, A. 2015. *Plant Physiology and Development*. 6ta ed. California, Sinauer Associates. 354 p.
- Torres-Moya, E; Ariza-Suárez, D; Baena-Aristizaba, C; Cortés-Gómez, S; Becerra-Mutis, L; Riaño-Hernández, C. 2016. Efecto de la fertilización en el crecimiento y desarrollo del cultivo de la avena (*Avena sativa*). *Pastos y Forrajes* 39(2):102-110.
- Verdecia, DM; Ramírez, JL; Leonard, I; Álvarez, Y; Bazán, Y; Bodas, R; Andrés, S; Álvarez, J; Giráldez, F; López, S. 2011. Calidad de la *Tithonia diversifolia* en una zona del Valle del Caucho (en línea). REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 12(5):1-13. Disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050511/051113.pdf>.
- Villalobos-Mora, E. 2010. Respuesta del pasto Ratana (*Ischaemum indicum*) a la fertilización nitrogenada y edad de rebrote (en línea). s.l., Instituto Tecnológico de Costa Rica. 57 p. Disponible en [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3960/Respuesta del pasto Ratana %28Ischaemum indicum%29 a la fertilización nitrogenada y edad de rebrote.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3960/Respuesta%20del%20pasto%20Ratana%20%28Ischaemum%20indicum%29%20a%20la%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20y%20edad%20de%20rebrote.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Villalobos, E. 2001. Fisiología de la producción de los cultivos tropicales: Procesos fisiológicos básicos. 1 ed. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 228 p.
- Warnock, R; Valenzuela, J; Trujillo, A; Madriz, P; Gutiérrez, M. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de Caraota. *Agronomía Tropical* 56(1):21-42.
- Zavala, Y; Rodríguez, J.; 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.