

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

**Efecto de la fertilización y edad de cosecha sobre el  
rendimiento, bromatología y parámetros ruminales de  
la especie forrajera *Tithonia diversifolia***

**LUIS MAURICIO ARIAS GAMBOA**

**Heredia, Costa Rica, 2022.**

**Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Posgrado en Agricultura Ecológica de la Escuela de Ciencias Agrarias, para optar por el grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica.**

**Efecto de la fertilización y edad de cosecha sobre el  
rendimiento, bromatología y parámetros ruminales de  
la especie forrajera *Tithonia diversifolia***

**LUIS MAURICIO ARIAS GAMBOA**

**Tesis presentada para optar al grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.**

## MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

---

[Dr. Luis A. Miranda Calderón / Dr. José Vega Baudrit /Dr. Jorge Herrera Murillo/Dra. Damaris Castro  
García / M.Sc. Randall Gutiérrez Vargas]  
Representante del Consejo Central de Posgrado

---

Ph.D. Martha Orozco Aceves  
Coordinadora Maestría en Agricultura Ecológica

---

M. Sc. Miguel Ángel Castillo Umaña  
Tutor de tesis

---

M. Sc. Michael López Herrera  
Miembro del Comité Asesor

---

M. Sc. Andrés Alpizar Naranjo  
Miembro del Comité Asesor

---

Lic. Luis Mauricio Arias Gamboa  
Sustentante

**Descriptores**

Alimentación animal, calidad nutricional, gases de efecto invernadero, ganadería, producción de biomasa, forraje

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tipo de fertilizante y la edad de rebrote sobre el rendimiento, composición bromatológica y los indicadores de fermentación ruminal del forraje de *Tithonia diversifolia*, conocida como botón de oro. El trabajo se realizó entre los años 2020 y 2021 en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional Costa Rica. Se implementó un diseño de parcelas divididas completamente al azar con dos factores: tipo de fertilización (parcela) y edad de rebrote (subparcela), con 3 repeticiones por tratamiento. Los tipos de fertilizante evaluados fueron: orgánico “lombricompost” (L), químico “urea” (Q) y un control sin uso de fertilizante (C). En cada una de las parcelas se evaluaron tres edades de rebrote (30, 50 y 70 días), para un total de 9 tratamientos.

Las variables evaluadas fueron; producción de biomasa, relación hoja/tallo, composición bromatológica (materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas, fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina (Lig), fibra en detergente neutro digestible ( $d$ FDN), carbohidratos no fibrosos (CNF), contenido de total de nutrientes digestibles (TND) y energía neta de lactancia ( $EN_L$ ), la degradabilidad *in situ* de la materia seca (DISMS), pH, nitrógeno amoniacal ( $NH_3$ ), producción de gas y producción de metano *in situ* ( $CH_4$ ). Para el análisis de los datos se utilizó un ANOVA para parcelas divididas. El tratamiento Q70 fue el que alcanzó la mayor producción de biomasa (77,18 Ton MV/ha y 7,10 Ton MS/ha), mientras que la mayor relación hoja/tallo (1,77) se obtuvo en el C30. El contenido de PC mayor se encontró en el Q30 (27,61% MS). El tipo de fertilizante tuvo un efecto significativo sobre las variables de MS, PC, FDN, cenizas y CNF, mientras que la edad de rebrote no generó efectos significativos sobre las variables  $d$ FDN y CNF. Los contenidos de FDN oscilaron entre 30,23 y 46,29%, los CNF entre 21,08 y 29,11% y la  $EN_L$  entre 1,34 y 1,42 Mcal/Kg MS.

La DISMS varió significativamente dependiendo el tipo de fertilización y edad de rebrote, la mayor degradabilidad potencial se encontró en C30 (92,84%) y menor en Q70 (64,21%). El tipo de fertilizante influyó sobre los contenidos de  $NH_3$  cuyo valor promedio fue mayor en el tratamiento con

fertilización química y menor en el tratamiento control (275,88 y 218,24 mg NH<sub>3</sub>/L fluido ruminal, respectivamente). En el caso de la producción de gas, se determinó que C30 produjo mayor cantidad de gas (79,59 mL/g), en contraste con el tratamiento Q30 que fue el de menor producción promedio (28,38 mL/g). La producción de CH<sub>4</sub> no mostró diferencias significativas entre medias, con valores que oscilaron entre 3,42-8,67 mLCH<sub>4</sub>/ gMS, obteniéndose los valores más altos en los tratamientos control.

En conclusión, tanto la edad de rebrote, como el tipo de fertilizante y la interacción de estos influyen sobre el rendimiento, la relación hoja/tallo, la composición bromatológica y los procesos ruminales del forraje de *T. diversifolia*. Los resultados demostraron una respuesta inmediata a la fertilización química. Los resultados permiten considerar este recurso como un complemento forrajero de las gramíneas que puede llegar a influir de manera positiva en los sistemas ganaderos tropicales, pero se requieren estudios con periodos de tiempo más prolongados para evidenciar el efecto del fertilizante orgánico.

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of the type of fertilizer and the age of regrowth on yield, bromatological composition and ruminal fermentation indicators of *Tithonia diversifolia* forage, known as “botón de oro.” The work was carried out between 2020 and 2021 at the Finca Experimental Santa Lucía of the Universidad Nacional Costa Rica. A completely randomized split plot design was implemented with two factors fertilization type (plot) and regrowth age (subplot), with 3 replications per treatment. The types of fertilizer evaluated were organic “vermicompost” (L), chemical “urea” (Q) and a control without the use of fertilizer (C). In each of the plots, three regrowth ages (30, 50 and 70 days) were evaluated, for a total of 9 treatments.

The variables evaluated were biomass production, leaf/stem relation, bromatological composition (dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), ash, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin, digestible neutral detergent fiber ( $d$ NDF), non-fibrous carbohydrates (NFC), total digestible nutrient content (TDN) and net energy lactation  $NE_L$ ), *in situ* degradability of dry matter (ISDDM), pH, ammoniacal nitrogen ( $NH_3$ ), gas production and *in situ* methane production ( $CH_4$ ). ANOVA for split plots was used for data analysis. Treatment Q70 was the one that reached the highest biomass production (77.18 Ton green matter (GM) / ha and 7.10 Ton DM/ha), while the highest leaf/stem relation (1.77) was obtained in C30. The highest CP content was found in Q30 (27.61% DM). The type of fertilizer had a significant effect on the variables of DM, PC, NDF, ashes and CNF, while the regrowth age did not generate significant effects on the variables  $d$ FDN and CNF. NDF contents ranged between 30.23 and 46.29%, CNF between 21.08 and 29.11% and  $EN_L$  between 1.34 and 1.42 Mcal/Kg MS.

The ISDDM varied significantly depending on the type of fertilization and regrowth age, the highest potential degradability was found in C30 (92.84%) and the lowest in Q70 (64.21%). The type of fertilizer influenced the  $NH_3$  contents, whose average value was higher in the treatment with chemical

fertilization and lower in the control treatment (275.88 and 218.24 mg NH<sub>3</sub>/L ruminal fluid, respectively). In the case of gas production, it was determined that C30 produced a greater amount of gas (79.59 mL/g), in contrast to treatment Q30, which had the lowest average production (28.38 mL/g). The production of CH<sub>4</sub> did not show significant differences between means, with values that ranged between 3.42-8.67 mLCH<sub>4</sub>/ gMS, obtaining the highest values in the control treatments.

In conclusion, both the regrowth age and the type of fertilizer and their interaction influence the yield, the leaf/stem relation, the bromatological composition and the ruminal processes of the *T. diversifolia* forage. The results demonstrated an immediate response to chemical fertilization. The results allow us to consider this resource as a forage complement to grasses that can have a positive influence on tropical livestock systems, but studies with longer periods of time are required to demonstrate the effect of organic fertilizer.

## **Agradecimientos**

A mi Dios, por guiarme y brindarme la fe y fortaleza necesaria para concluir con éxito mis estudios de maestría.

A quienes han sido mi guía y me han enseñado todo en la vida, brindándome siempre su amor y apoyo incondicional, mi padre, mi madre, mi compañera y mi hijo.

A mi hermano, quien me ha apoyado y acompañado en los momentos más importantes de la vida, ayudándome a salir adelante y superarme.

A mi amigo y tutor el M Sc. Miguel Ángel Castillo Umaña por brindarme una parte de su gran conocimiento y valioso tiempo, gracias, amigo.

A mis asesores y amigos, M Sc. Michael López Herrera y M Sc. Andrés Alpizar Naranjo, al igual que mi tutor por brindarme su conocimiento y valioso tiempo.

Al equipo de trabajo de la finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, a cada uno de los trabajadores de campo, técnicos y quienes brindaron su apoyo durante el periodo experimental de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Costa Rica por ser una Institución de Educación Superior en donde se brinda apoyo al estudiante tanto de manera académica como integral y de esta forma no solo se forman profesionales aptos si no que se crean personas de bien, con deseos de superación, deseosas de dejar huella y contribuir al país.

Finalmente, a todas aquellas personas que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo.

**Dedicatoria**

A mi Dios Todopoderoso el cual es el que nos da la oportunidad de la vida, de crecer, de ser una mejor persona y de rodearnos de las personas más importantes en nuestras vidas, padres, hermanos, compañeros, amistades quienes tienen un gran significado y son el soporte y nos alientan a seguir adelante y mejorar continuamente.

Mi compañera Anny Quirós Hidalgo, mi hijo Julián Ignacio Arias Quirós, mis padres Ananías Arias Delgado y Fermina Gamboa Rodríguez, los cuales son mi mayor apoyo y razón de ser y de crecer en mi vida. Además, son las personas que me han guiado y me guían día a día en todas las decisiones que he tomado hasta el día de hoy y me han acompañado e inspirado siempre a seguir adelante y ser una mejor persona cada día.

Mi hermano Fabián Arias Gamboa que siempre me ha apoyado en la vida.

Y todos los que de una forma u otra pusieron su granito de arena en el desarrollo del experimento, análisis de datos y redacción de este documento.

## Índice

Capítulo I. Introducción	1
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Capítulo II. Marco teórico	4
La ganadería y su importancia	4
Problemáticas de los sistemas ganaderos en el trópico	5
<i>Emissiones de gases de efecto invernadero los sistemas ganaderos</i>	6
Alternativas alimenticias	7
Características generales de la <i>Tithonia diversifolia</i>	8
Composición bromatológica de los forrajes	10
<i>Materia seca</i>	10
<i>Proteína cruda</i>	10
<i>Fibra detergente neutro</i>	11
<i>Fibra detergente ácido</i>	11
<i>Lignina</i>	11
<i>Extracto etéreo</i>	11
<i>Cenizas</i>	12
Efecto de la edad de rebrote sobre la producción y composición de los forrajes	12
Efecto de la fertilización sobre la producción y calidad de los forrajes	13
Fertilización orgánica en forrajes	14
Lombricompost	15
Uso de lombricompost en la producción de forrajes	15
Efecto de la fertilización en las plantaciones de <i>Tithonia diversifolia</i>	16
Calidad nutricional de los forrajes y su efecto sobre parámetros ruminales	17
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	17
<i>pH ruminal</i>	17
<i>Estimación de la producción de gas y metano entérico in vitro</i>	18
<i>Cinética de la degradabilidad ruminal in situ</i>	19

<b>Capítulo III. Efecto de fertilización y edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica de <i>Tithonia diversifolia</i></b>	20
<b>Resumen</b>	20
<b>Abstract</b>	21
<b>Introducción</b>	22
<b>Materiales y métodos</b>	23
<b>Resultados y discusión</b>	27
<b>Consideraciones finales</b>	42
<b>Referencias bibliográficas</b>	43
<b>CAPÍTULO IV. Efecto del tipo de fertilización y edad de rebrote en el forraje de <i>Tithonia diversifolia</i> sobre indicadores de fermentación ruminal</b>	50
<b>Resumen</b>	50
<b>Abstract</b>	51
<b>Introducción</b>	52
<b>Materiales y métodos</b>	54
<b>Resultados y discusión</b>	59
<b>Consideraciones finales</b>	72
<b>Referencias bibliográficas</b>	73
<b>Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones generales</b>	80
<b>Referencias bibliográficas</b>	83

### Lista de tablas

Tabla 1. Efecto de la edad de cosecha sobre la composición bromatológica del forraje de <i>T. diversifolia</i> . .....	13
Tabla 2. Composición química del lombricompost producido en la Finca Experimental Santa Lucía a base de estiércol bovino. ....	25
Tabla 3. Producción de biomasa en términos de materia fresca (MV) y seca (MS), producción de hojas, tallos y relación hoja/tallo de la <i>T. diversifolia</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote.....	27
Tabla 4. Composición bromatológica de la <i>T. diversifolia</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote. .	33
Tabla 5. Composición química del lombricompost utilizado en el experimento, el cual es fabricado en la Finca Experimental Santa Lucía a base de estiércol bovino.....	55
Tabla 6. Composición bromatológica de la <i>T. diversifolia</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote ..	56
Tabla 7. Parámetros de la cinética de degradabilidad ruminal, potencial y efectiva de la materia seca a diferentes tasas de pasaje del forraje de <i>Tithonia diversifolia</i> fertilizada con urea (Q) o lombricompost (L), sin fertilización (C) cosechados 30, 50 o 70 días de rebrote .....	60
Tabla 8. Medias de los tratamientos para las variables de pH, nitrógeno amoniacal, producción de gas y metano entérico <i>in vitro</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote del forraje de <i>T. diversifolia</i> .....	68

### Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de distribución de los tratamientos en las parcelas divididas en la plantación experimental de <i>T. diversifolia</i> .....	25
Figura 2. Producción de biomasa en términos de materia verde del forraje de <i>T. diversifolia</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote .....	29
Figura 3. Relación hoja/tallo de las plantas de <i>T. diversifolia</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote .....	32
Figura 4. Efecto del tipo de fertilización y edad de rebrote sobre el contenido de materia seca del forraje de <i>T. diversifolia</i> . A) Tipo de fertilización B) Edad de rebrote .....	34
Figura 5. Efecto del tipo de fertilización y edad de rebrote sobre el contenido de Fibra detergente neutro de <i>T. diversifolia</i> . A) Tipo de fertilización B) Edad de rebrote .....	37
Figura 6. Efecto de la edad de rebrote sobre los contenidos de fibra detergente ácido y lignina del forraje de <i>T. diversifolia</i> . A) Fibra detergente ácido B) Lignina.....	38
Figura 7. Efecto del tipo de fertilización sobre los contenidos de carbohidratos no fibrosos del forraje de <i>T. diversifolia</i> .....	40
Figura 8. Efecto de la edad de rebrote sobre la energía neta de lactancia del forraje de <i>T. diversifolia</i> ..	42
Figura 9. Efecto de la edad de rebrote sobre la fracción soluble “a” de la materia seca del forraje de <i>T. diversifolia</i> .....	61
Figura 10. Efecto de la edad de rebrote sobre degradabilidad efectiva de la materia seca del forraje de <i>T. diversifolia</i> a una tasa de pasaje de 8%/h. ....	65
Figura 11 Producción de gas <i>in vitro</i> del follaje de <i>T. diversifolia</i> según tipo de fertilización y edad de rebrote. ....	70

## Lista de abreviaturas

SIGLAS	SIGNIFICADO
°C	Grados centígrados
AGV	Ácidos grasos volátiles
ANOVA	Análisis de varianza
AOAC	Association of Official Analytical Chemist
C30	Tratamiento control edad de rebrote 30 días
C50	Tratamiento control edad de rebrote 50 días
C70	Tratamiento control edad de rebrote 70 días
CH <sub>4</sub>	Metano
cm	Centímetros
CEN	Cenizas
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CORFOGA	Corporación para el Fomento de la Ganadería Nacional
EE	Extracto etéreo
EN <sub>L</sub>	Energía neta de lactancia
ES±	Error estándar
dFDN	Fibra detergente neutro digestible
DISMS	Degradabilidad <i>in situ</i> de la materia seca
FAO	Food and Agriculture Organization
FDA	Fibra Detergente Ácido
FDN	Fibra Detergente Neutro
FESL	Finca Experimental Santa Lucía
FS	Fracción soluble
g	Gramos
GEI	Gases de efecto invernadero
Gt	giga toneladas
ha	Hectárea
HP	Horsepower (caballos de fuerza)
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Kg	Kilogramo
L30	Tratamiento fertilización orgánica edad de rebrote 30 días
L50	Tratamiento fertilización orgánica edad de rebrote 50 días
L70	Tratamiento fertilización orgánica edad de rebrote 70 días
LAQAT	Laboratorio de Química de la Atmósfera

LAPAV	Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales
LIG	Lignina
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
Mcal	Mega-calorías
MF	Materia fresca
mL	Mililitro
mm	Milímetros
MS	Materia seca
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Nitrógeno
NH <sub>3</sub>	Nitrógeno amoniacal
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
°C	Grados centígrados
PC	Proteína cruda
pH	Unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución
PIB	Producto Interno Bruto
Q30	Tratamiento fertilización química edad de rebrote 30 días
Q50	Tratamiento fertilización química edad de rebrote 50 días
Q70	Tratamiento fertilización química edad de rebrote 70 días
SSP	Sistemas silvopastoriles
<i>T. diversifolia</i>	<i>Tithonia diversifolia</i>
TND	Total de nutrientes digestibles
ton	Tonelada
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica

## Capítulo I. Introducción

El sector ganadero juega un papel muy importante en la economía mundial, debido a que contribuye aproximadamente con el 40% del producto interno bruto (PIB) agrícola (Vega, 2016). En Costa Rica según Arguedas (2019), la industria agropecuaria representa aproximadamente un 6% del PIB del país. Del total de fincas agropecuarias costarricenses (93017), 37171 cuentan con producción de ganado bovino, 2348 con ganado caprino y 1792 con ovino, por lo tanto, el 44,40% de las fincas nacionales tiene integrados los rumiantes en los sistemas productivos (INEC, 2014).

En Costa Rica la ganadería influye de manera positiva en el medio ambiente, debido a que las fincas cuentan con áreas de bosque secundario y árboles aislados que secuestran casi el 70% del total del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que se emite en las mismas. Pero esta actividad también tiene un efecto negativo que está asociado a las emisiones de tres gases de efecto invernadero (GEI): el metano ( $\text{CH}_4$ ) producido por la fermentación entérica de los rumiantes, el dióxido de carbono, producto de prácticas de manejo como las quemadas de pastos y la utilización de hidrocarburos para la producción y por último el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), causado por la fertilización química de forrajes y la mala gestión de los residuos (excretas y orina) (Chacón, *et al.*, 2015).

En las zonas tropicales la alimentación de los rumiantes se fundamenta en el empleo de pastos y forrajes, los cuales bajo un sistema de manejo apropiado pueden producir adecuadas cantidades de biomasa (Villalobos y Sánchez, 2010; Jiménez, 2018). Sin embargo, pueden presentar desventajas como bajos contenidos de proteína y altos de fibra (Quevedo, 2014) y estar sujetos al efecto de la estacionalidad sobre la producción (Villalobos, Arce y WingChing, 2013).

Al considerar las particularidades de las fincas ganaderas nacionales y las características de los forrajes tropicales (mencionadas en los párrafos anteriores), surge la necesidad de buscar alternativas alimenticias que ayuden a aumentar la calidad de la dieta ofrecida a los animales, la disponibilidad durante todo el año, reducir los costos de alimentación y las emisiones de gases de efecto invernadero,

principalmente CH<sub>4</sub>. Además, de la implementación de alternativas para mejorar el manejo de los residuos y de fertilización (Vega, 2016).

Dentro de estas alternativas, Cardona, *et al.* (2017) plantean el establecimiento de bancos forrajeros utilizando especies arbóreas y/o arbustivas, las cuales han demostrado ser una estrategia nutricional viable para la suplementación de los rumiantes en el trópico. Una de estas plantas es la *Tithonia diversifolia* la cual es una planta autóctona de Centroamérica, posee características agronómicas y bromatológicas que la hacen tener un alto potencial para la alimentación de rumiantes, dentro de las que destacan: adaptación a suelos de baja fertilidad, baja utilización de insumos, alta producción de biomasa (alrededor de 55 Ton/MS/ha anuales), altos porcentajes de proteína cruda (PC) (entre 14,80% y 28,70%) y alta degradabilidad de la materia seca (superiores al 70%) (Arias, *et al.*, 2018; Lezcano, *et al.*, 2012; Alonso, *et al.*, 2013). Esta última característica puede influir de manera positiva en la disminución de emisiones de CH<sub>4</sub>, según Carmona, *et al.* (2005) los alimentos o forrajes con una alta calidad bromatológica modifican los procesos de digestión y generan una reducción en la producción de CH<sub>4</sub> ruminal, en comparación con los niveles registrados por los pastos tropicales.

La calidad bromatológica de un forraje depende de la edad y el momento óptimo de cosecha, para alcanzar el punto de equilibrio entre el valor nutricional y máximo rendimiento de biomasa (Merlo, *et al.*, 2017). Específicamente para el caso de *T. diversifolia* existen investigaciones donde se evidencia que la edad de cosecha tiene un efecto sobre el rendimiento y la composición bromatológica (%MS, contenidos de proteína, fibras y la digestibilidad) de las plantas (Olmedo, 2009).

Por otra parte, autores como Cerdas (2018) y Botero, *et al.* (2019), encontraron que la fertilización química aplicada a plantas de *T. diversifolia* tiene un efecto positivo sobre la producción de biomasa y las características bromatológicas. Sin embargo, no existen estudios que determinen la respuesta de esta planta a la fertilización orgánica y cómo esto influye en la calidad bromatológica de plantas de distintas edades de cosecha. Contar con la información anterior constituye una oportunidad,

ya que con la utilización y aplicación de abono orgánico “producido en la propia finca” se podrían aumentar los rendimientos productivos de las fincas ganaderas, debido a la disponibilidad de forraje de calidad en cantidad suficiente, y al mismo tiempo se promovería la mejora de la calidad del suelo. Además, de ser una forma eficiente de gestionar los residuos (excretas) del ganado, previniendo y disminuyendo la emisión de GEI.

Con base en lo anterior la presente investigación plantea evaluar el efecto de tres edades de cosecha (30, 50 y 70 días) y dos tipos de fertilización (química y orgánica) en plantas de *T. diversifolia*, sobre variables tales como: producción de biomasa, composición bromatológica y parámetros ruminales, con el fin de fomentar el desarrollo de alternativas alimenticias sustentables y ecológicas para la producción de rumiantes.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Contribuir al desarrollo de alternativas alimenticias sustentables en la producción de rumiantes por medio de la evaluación del efecto del tipo de fertilización y la edad de cosecha en el rendimiento, composición bromatológica y parámetros ruminales del forraje de *T. diversifolia*.

### **Objetivos específicos**

Evaluar dos tipos de fertilización (orgánica y química) y tres edades de cosecha (30, 50 y 70 días) sobre la producción de biomasa y relación hoja/tallo de *T. diversifolia*.

Determinar el efecto del tipo de fertilización y la edad de cosecha sobre la composición bromatológica de *T. diversifolia*.

Determinar la producción de gas total y generación de metano *in vitro* del forraje de *T. diversifolia* con diferentes tipos de fertilización y a distintas edades de cosecha.

Estimar el efecto del tipo de fertilización y la edad de rebrote sobre la cinética de degradabilidad ruminal del forraje de *T. diversifolia*.

## Capítulo II. Marco teórico

### La ganadería y su importancia

El sector ganadero juega un papel muy importante en la economía mundial, debido a que representa aproximadamente el 40% del PIB agrícola, genera empleo para 1300 millones de personas y es el medio de subsistencia para 1000 millones de pobres en todo el mundo. Suministra un tercio del consumo mundial de proteínas, por lo que se prevé un incremento de la producción mundial de carne y de leche debido al crecimiento constante de la población mundial (Vega, 2016).

En Costa Rica existe un total de 93017 fincas agropecuarias, de las cuales 37171 están dedicadas a la producción de ganado vacuno, 2348 a la crianza de caprinos y 1792 de ovinos, por lo que el 44,40% de las fincas nacionales posee rumiantes dentro de su sistema de producción. Se estima que el hato bovino alcanza los 1278817 animales, el caprino unos 12852 y el ovino está conformado por 35800 animales aproximadamente (INEC, 2014).

Según la Corporación para el Fomento de la Ganadería Nacional se determinó que el 70% de las fincas ganaderas están en manos de pequeños productores y la extensión de estas fincas es de aproximadamente 30 ha o menos, lo que representa el sector de la población menos favorecida y con menores recursos económicos para hacer frente a los retos del mercado (CORFOGA, 2012). No obstante, la ganadería ha mostrado ser una actividad estratégica por su condición de proveedora de alimentos básicos para la población, y sus encadenamientos con otros sectores de la actividad económica dan lugar a efectos multiplicadores en términos de empleo, generación de ingresos, divisas y crecimiento económico (Holmann, *et al.*, 2007).

Según Arguedas (2019), la industria agropecuaria representa aproximadamente un 6% del PIB del país. En el estudio realizado por Benavides, *et al.* (2013), se encontró que en Costa Rica la actividad ganadera ocupa un alto porcentaje del territorio nacional, esta actividad contribuye directamente en los medios de vida de 153000 familias e indirectamente en más de 300000 familias (Arguedas, 2019).

### **Problemáticas de los sistemas ganaderos en el trópico**

En las zonas tropicales la alimentación de los rumiantes se fundamenta en el empleo de pastos y forrajes, los cuales manejados de manera correcta pueden producir adecuadas cantidades de biomasa (Villalobos y Sánchez, 2010; Jiménez, 2018). Sin embargo, algunos de los principales problemas alimenticios presentes en los sistemas ganaderos tropicales son la baja calidad bromatológica de las pasturas, las cuales se caracterizan por bajos niveles de proteína, baja digestibilidad, altos contenidos de humedad y fibra (Quevedo, 2014). Además, de una producción de biomasa dependiente del régimen de precipitación (Villalobos, *et al.*, 2013), lo cual genera que en una época del año exista una cantidad suficiente de alimento y en otra época escasez.

Estas situaciones propician balances energéticos negativos en los animales, lo cual repercute de manera negativa en la productividad de los sistemas (López, 2017). Por lo que para mantener buenos niveles de producción los ganaderos han optado por utilizar alimentos balanceados compuestos principalmente por cereales y otras materias primas de alto valor económico, los cuales poseen altos niveles de proteína y materia seca (MS), una alta digestibilidad y adecuados niveles de energía, esto propicia que los animales sean más productivos pero también más exigentes desde un punto de vista nutricional para no tener desbalances energéticos y la productividad de las fincas se mantenga (Lezcano, *et al.*, 2012).

En los sistemas ganaderos nacionales el valor de la alimentación representa el costo de producción más elevado, equivalente al 52% del total de los costos de los sistemas lecheros especializados (Madriz, 2017) y según se menciona en el trabajo de Arias (2018), la utilización de los alimentos balanceados comerciales representa entre el 56% y 60% de los costos totales de la producción de leche vacuna en Costa Rica.

Debido al alto costo en alimentación del ganado en sistemas pecuarios, se busca un alto aprovechamiento para optimizar la producción; sin embargo, se ha evidenciado que las pérdidas de

energía en los rumiantes debido a la metanogénesis son mayores en sistemas tropicales en comparación con los de climas templados, esto debido a las características propias de los forrajes C4 que se utilizan en el trópico (altos contenidos de fibras y lignina, bajos contenidos de carbohidratos no fibrosos), que aumentan la producción de metano ruminal con respecto a pastos C3, provenientes de climas templados (López, 2017).

### ***Emisiones de gases de efecto invernadero los sistemas ganaderos***

Según Apráez, *et al.* (2016), los rumiantes cuentan con un sistema digestivo capaz de aprovechar y convertir materiales fibrosos como los pastos y forrajes en alimentos de alta calidad nutritiva; sin embargo, por sus características innatas producen  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y ácidos grasos volátiles (AGV), en donde la formación de  $\text{CH}_4$  es el principal modo de eliminación de hidrógeno generado como producto principal de la fermentación microbiana, responsable por la pérdida de energía aportada por el alimento. Por esta razón, la ganadería ha sido señalada debido a sus impactos negativos sobre el medio ambiente; específicamente las emisiones de GEI como el  $\text{CH}_4$ , que se genera como producto del proceso digestivo y la fisiología ruminal (fermentación entérica), el  $\text{CO}_2$ , producto de un manejo inapropiado de los pastos, al implementar las quemas, y el  $\text{N}_2\text{O}$ , contaminante que se produce por la utilización de fertilización química de pastos y forrajes y la mala gestión de los residuos (excretas y orina) de las explotaciones ganaderas (Chacón, *et al.*, 2015).

Es especialmente crítico el caso de la producción de  $\text{CH}_4$ , que es un GEI que tiene un potencial de calentamiento 21-30 veces mayor al del  $\text{CO}_2$  y su concentración en el aire se ha incrementado aceleradamente en las últimas décadas (Carmona, *et al.*, 2005; IPCC, 2007). Se calcula a nivel mundial, que el sector ganadero emite aproximadamente 7,10 giga toneladas (Gt) de  $\text{CO}_2$ -eq/año, lo que representa cerca del 18% del total de emisiones de GEI antropogénicas; por otro lado, se estima que la fermentación entérica de los rumiantes y el uso de combustibles fósiles en las granjas genera 1,90 Gt de  $\text{CO}_2$ -eq/año (FAO, 2009a). Por esta razón, en los últimos años se ha incrementado el interés por lograr la

sustitución de granos y cereales ricos en energía por la utilización de forrajes de alta calidad nutricional, para optimizar el uso de suplementos ricos en proteínas (Hymøller, *et al.*, 2014). Esta situación, obliga a buscar recursos producidos en la finca, como especies forrajeras altamente nutritivas, para reducir los costos y aumentar la eficiencia de los sistemas ganaderos (Alpízar, *et al.*, 2014).

### **Alternativas alimenticias**

Los sistemas de producción de rumiantes enfrentan una serie de problemáticas relacionada con la producción y utilización de forrajes de baja calidad, utilización de insumos y suplementos de alto precio, así como la contaminación ambiental, entre otros. De aquí que, los esfuerzos del sector están enfocados en la búsqueda de mejoras en la utilización de alimentos locales, para ser producidos en la finca y la disminución de los costos de producción, sobre todo el referente a la alimentación. El propósito es aprovechar la ventaja biológica de los rumiantes para utilizar alimentos de alta calidad como las leguminosas, árboles y arbustos en su dieta. Por lo tanto, la investigación de nuevos materiales forrajeros es de gran importancia (Paniagua, *et al.*, 2019).

La utilización de fuentes alimenticias alternativas en la ganadería tales como; el uso de subproductos agrícolas, pastoreo intensivo de gramíneas, especies leguminosas arbóreas y arbustivas, entre otras, son opciones cada vez más comunes en explotaciones que buscan mantener su nivel productivo y aumentar su rentabilidad (Saavedra, *et al.*, 2011). Una de las alternativas alimenticias más sobresaliente en la ganadería para aumentar la eficiencia productiva es la implementación de los sistemas silvopastoriles (SSP). En los SSP los animales se alimentan de un conjunto de especies de gramíneas, árboles y arbustos leguminosos o no, estos sistemas aumentan la productividad por unidad de área, mejoran la cantidad y calidad de la dieta animal, y reducen la utilización de insumos importados de alto costo como los granos y el alimento balanceado (Alpízar, 2014).

Otra alternativa son los bancos forrajeros, definidos como sistemas de corte y acarreo con la inclusión de especies leñosas y herbáceas en altas densidades y con un manejo proteccionista de los

suelos (Giraldo, *et al.*, 2011). La utilización de especies arbustivas y arbóreas se ha considerado, en muchos casos, como una estrategia nutricional en la suplementación de los rumiantes en el trópico, con el fin de mejorar el nivel productivo y alimentario de los animales, principalmente durante los períodos de escasez de forraje (Toruño, *et al.*, 2014). Este tipo de manejo permite un uso eficiente del suelo y agua en las fincas, reduce el uso de insumos externos, fija CO<sub>2</sub>, mejora los suelos y conserva la biodiversidad. En síntesis, los bancos forrajeros contribuyen a mejorar los ingresos de las fincas de una manera amigable con el ambiente (Cruz y Nieuwenhuyse, 2008; Hernández, *et al.*, 2014).

Muchas de las plantas utilizadas en bancos de forraje tienen un valor nutricional superior al de los pastos y pueden producir altas cantidades de biomasa comestible, que son más sostenidas en el tiempo, que las de los pastos empleados usualmente, bajo condiciones de cero fertilizaciones. Ejemplos de estas especies vegetales no leguminosas, son *T. diversifolia* y *Morus alba*, que poseen características nutricionales altamente valoradas por su calidad alimentaria (Lezcano, *et al.*, 2012).

#### **Características generales de la *Tithonia diversifolia***

Dentro de las especies arbóreas y arbustivas con potencial en la alimentación animal se destaca *T. diversifolia* por su capacidad para la producción de forraje y de adaptación a condiciones tropicales (García, *et al.*, 2008; Alonso, *et al.*, 2013; Arias, 2018). La *T. diversifolia*, también conocida como botón de oro es un arbusto de la familia Asteraceae, originario del sur de México, América central y parte de Sur América, ampliamente distribuido en la actualidad en los trópicos húmedos y subhúmedos de América Central y del Sur, Asia y África (Crespo, *et al.*, 2011). Es una planta herbácea o arbustiva robusta, perteneciente al Reino Plantae, Subreino Tracheobionta, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Subclase Asteridae y Orden Asterales (Pérez, *et al.*, 2009).

La *T. diversifolia* es una planta no leguminosa que tiene un gran potencial para producir alimento de buena calidad, puede acumular tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas, tiene altos niveles de fósforo, un gran volumen radicular, y una habilidad especial para recuperar los escasos nutrientes del

suelo. Además, tiene un rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Martínez y Leyva, 2014). Adicionalmente, tiene la capacidad de crecer en condiciones agroclimáticas variadas, desde 0 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta los 2700 msnm, en sitios con precipitaciones anuales entre 800 a 5000 mm según González, *et al.* (2014), y se distribuye ampliamente en zonas de vida desde los bosques secos tropicales hasta bosques muy húmedos pre-montanos y montano bajos (Saavedra, 2016), en diferentes tipos de suelo; tolera condiciones de acidez, de baja fertilidad y crece espontáneamente en áreas perturbadas a orillas de caminos, ríos y carreteras (González, *et al.*, 2014).

Autores como Rivera, *et al.* (2015) y Mahecha, *et al.* (2007) reportaron buenos rendimientos productivos al utilizar esta planta en la alimentación de rumiantes, tanto en sistemas silvopastoriles como en bancos forrajeros de corte y acarreo. A nivel nacional Arias, *et al.* (2018), reportaron buenos resultados productivos y económicos al sustituir de manera parcial el alimento balanceado por forraje fresco de botón de oro en la alimentación de vacas lecheras de la raza Jersey.

Dentro de las características agronómicas y bromatológicas que la hacen ser una planta con un alto potencial para la alimentación de rumiantes, destacan: adaptabilidad a distintas altitudes (desde 0 hasta los 2700 msnm, con precipitaciones anuales entre 800 a 5000 mm anuales), adaptación a suelos de baja fertilidad, baja utilización de insumos, alta producción de biomasa (hasta 275 Ton/MF, alrededor de 55 Ton/ha/MS anuales), dependiendo de la distancia de siembra y edad de cosecha, altos porcentajes de PC (entre 14,8% y 28,7%) y alta degradabilidad de la MS (superiores al 70%) (Arias, *et al.*, 2018; González, *et al.*, 2014; Alonso, *et al.*, 2013; Lezcano, *et al.*, 2012), esta última característica puede llegar a tener un impacto positivo en la disminución de emisiones de metano, debido a que alimentos o forrajes de alta calidad suelen generar una menor producción de metano que los pastos tropicales (Carmona, *et al.*, 2005).

### **Composición bromatológica de los forrajes**

La calidad de los pastos y forrajes se relaciona directamente con su uso en la producción de rumiantes. Los factores determinantes de la composición bromatológica de los forrajes son factores propios de la planta como especie, factores ambientales como temperatura, precipitación y fertilidad. Además, de aspectos asociados al manejo como la intensidad y frecuencia de uso (Almaraz, *et al.*, 2019).

Para conocer la composición bromatológica de los forrajes se debe analizar su composición química y de esta manera clasificarlos relativamente como fuente de nitrógeno o como fuente de energía neta de lactancia (EN<sub>L</sub>), dos de los principales componentes en cualquier ración que se desee formular. Por otro lado, es necesario conocer otras características como el aporte de minerales (cenizas), vitaminas, así como el de fibra cruda, Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Ácido Detergente (FDA) y de ácidos grasos esenciales, entre otros (De Gracia, 2015).

#### ***Materia seca***

Las plantas forrajeras al igual que todos los seres vivos poseen agua en sus tejidos, al estimar la composición bromatológica se extrae toda la humedad para poder determinar la cantidad de nutrientes que posee la planta, ya que el agua presente en los tejidos de un forraje no aporta nutrientes ni energía. El porcentaje de materia seca está influido por la especie y estado fenológico. El método más utilizado para determinar la materia seca es el de la eliminación del agua libre por medio del calor, seguida por la determinación del peso del residuo, siendo necesario someter las muestras a temperaturas que aseguren un secado rápido para eliminar pérdidas por acción enzimática y respiración celular (De la Rosa, *et al.*, 2002)

#### ***Proteína cruda***

Un elemento esencial al estudiar la composición bromatológica de las plantas es la proteína cruda, esta se calcula como un valor porcentual respecto de la materia seca, para ello se determina el nitrógeno de la muestra y se multiplica por el factor de 6,25. Por lo que refleja tanto la proteína

verdadera como el nitrógeno no proteico. La capacidad de aportar proteínas por parte de los forrajes es un parámetro de calidad (González, 2017).

### ***Fibra detergente neutro***

Esta fracción estima el contenido de la pared celular y sus componentes de celulosa, hemicelulosa y lignina. El porcentaje de FDN depende de la especie y el estado fenológico de la planta, además que da una estimación del contenido total de fibra en un forraje y está estrechamente relacionado con el consumo de alimento; al aumentar los valores de FDN el consumo total disminuye (Alpizar, 2010).

### ***Fibra detergente ácido***

La FDA está compuesta de celulosa, lignina y sílice. Está estrechamente relacionada con la fracción no digestible del forraje (García, *et al.*, 2003).

### ***Lignina***

Es el componente de la pared celular que más se asocia con la depresión en la digestibilidad de la MS. Entre los mecanismos por medio de los cuales la lignina inhibe la degradación de la fibra tenemos su presencia física, el efecto tóxico que los compuestos polifenólicos ejercen sobre los microorganismos ruminales, además de la acción hidrofóbica de la lignina que limita el contacto del agua con los sustratos, lo cual impide el acceso de las celulasas y hemicelulasas a la pared celular. Debido a lo anterior el contenido de lignina se correlaciona negativamente con la digestibilidad de la MS y por consiguiente con el aporte de nutrimentos digestibles y de energía de un determinado forraje (Van-Soest, Robertson y Lewis, 1991).

### ***Extracto etéreo***

La principal razón para obtener el extracto etéreo (EE) es tratar de aislar una fracción de los forrajes que tenga un elevado valor calórico. Las sustancias solubles en éter incluyen una variedad de compuestos orgánicos, de los cuales algunos tienen valor nutritivo. Los que tienen importancia

cuantitativa incluyen las grasas verdaderas y los ésteres de los ácidos grasos, algunos lípidos compuestos y las vitaminas o provitaminas liposolubles, como los carotenoides (Pond, *et al.*, 2003).

### **Cenizas**

Es el residuo remanente luego de que toda la materia orgánica presente en la muestra sea incinerada, por lo tanto, cenizas (CEN) es igual a la resta de materia total menos materia orgánica (Alpizar, 2010), representan el contenido de minerales.

### **Efecto de la edad de rebrote sobre la producción y composición de los forrajes**

La calidad nutricional de los forrajes puede modificarse por diferentes factores ya sean internos o externos. Entre los factores internos se pueden mencionar: la especie o la variedad utilizada y el estado fisiológico. Respecto a los factores externos, se pueden mencionar el clima, la fertilización, las características fisicoquímicas del suelo, la edad de corte, entre otras (Elizondo, 2017). La calidad del forraje disminuye según aumenta el grado de madurez de la planta, generando esto una ingestión voluntaria por parte de los animales al aumentar la fracción fibrosa y disminuir la velocidad de tránsito digestivo. Por otra parte, según la planta envejece disminuye la relación hoja/tallo. Ello da lugar a un menor valor nutritivo del forraje, pues son las hojas las que contienen la mayor parte de los nutrientes de mayor digestibilidad. El aumento de la proporción de tallos también supone mayores pérdidas cuando se henifica en condiciones ambientales adversas (Díaz y Callejo, 2019).

Uno de los factores que influyen decisivamente en la productividad de una especie forrajera, más aún en las especies tropicales es la edad de cosecha. Debido a que la edad de la planta en el momento de la cosecha debe representar un punto de equilibrio entre el valor nutritivo y el rendimiento de MS, en virtud de que al aumentar la edad de la planta se incrementa el rendimiento de MS, pero el valor nutritivo disminuye (Merlo, *et al.*, 2017). Un intervalo largo podría ser desventajoso, ya que se genera una mayor acumulación de material fibroso, una disminución del valor nutritivo del forraje y, consecuentemente, un menor consumo voluntario. Por otro lado, una cosecha muy frecuente reduce el

rendimiento de forraje, así como las reservas de la planta y, en consecuencia, se afecta el potencial de rebrote (Costa, *et al.*, 2007).

En el caso de la planta de *T. diversifolia*, Olmedo (2009) indica que la edad de cosecha tiene un efecto importante sobre la producción y composición bromatológica de su forraje, ya que en muchos estudios se evidencia que los porcentajes de MS y la producción de biomasa aumenta con una mayor edad de cosecha, pero a su vez la composición bromatológica del forraje disminuye con el aumento de la edad de cosecha (Tabla 1).

*Tabla 1. Efecto de la edad de cosecha sobre la composición bromatológica del forraje de T. diversifolia.*

Edad de cosecha	%Materia Seca	Proteína cruda	Extracto Etéreo
50 días	17,20	27,50	2,30
60 días	17,20	22,00	2,40
74 días	17,70	20,20	2,30
89 días	23,20	14,80	2,40

Fuente: Olmedo, 2009.

### **Efecto de la fertilización sobre la producción y calidad de los forrajes**

Los fertilizantes son materiales que contienen nutrientes para las plantas, estos pueden ser de origen natural o sintético. Estos materiales generalmente son agregados en forma directa al suelo o como aspersiones foliares, con el objetivo de promover el crecimiento y productividad en los cultivos (López y Zeledón, 2016). Un buen plan de fertilización de cualquier cultivo garantiza un óptimo crecimiento tanto radicular como foliar, para obtener plantas vigorosas (FAO, 2009b).

Según López (2018), debido a los altos requerimientos de nitrógeno de los forrajes y a los bajos contenidos de materia orgánica de los suelos dedicados a las explotaciones ganaderas, es que la fertilización nitrogenada es de las más implementadas en los sistemas de producción de rumiantes. La aplicación de fertilizantes produce un incremento en el contenido de proteína, porcentaje de

digestibilidad, altura de la planta, densidad, relación hoja-tallo y mayor producción de biomasa (Cerdas, 2011). También ayuda a la promoción de crecimiento de los cultivos, con lo cual es posible adelantar la fecha del primer pastoreo (López, 2018).

### **Fertilización orgánica en forrajes**

La importancia y el auge de la utilización de abonos orgánicos radica en la necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos sintéticos (Ramos y Terry, 2014). El uso de abonos orgánicos se está incrementando en la producción de cultivos intensivos y es una práctica habitual en la agricultura ecológica (Blasco, 2015).

Se conoce como abono orgánico a todo material de origen orgánico que sea utilizado para la fertilización de los cultivos o como mejorador del suelo (Soto, 2003). Son muy variables en sus características físicas y composición química, una aplicación constante de ellos con el tiempo mejora las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias del suelo, entre estos abonos se incluyen los estiércoles, compost, lombricompost, abonos verdes, residuos de cosecha, residuos orgánicos industriales, aguas negras y sedimentos orgánicos (Pedroza, 2017).

Los abonos orgánicos tienen efecto físico sobre el suelo debido a que, por su color oscuro, absorben más las radiaciones solares con lo que el suelo adquiere mayor temperatura y se absorben con mayor facilidad los nutrientes, disminuyen la erosión y aumentan la retención de agua (FAO, 2000). A nivel biológico favorecen la aireación y oxigenación del suelo, generando una mayor actividad radicular y de los microorganismos aerobios. Además, constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente en los mismos (Santana y Ortega, 2009).

En muchos sistemas de producción de rumiantes la fertilización de los cultivos destinados a la producción de forraje de corta o bancos forrajeros se realiza a partir de abonos orgánicos disponibles en la finca, como son el estiércol de vacas, cerdos, gallinas o lombricompost. La cantidad de fertilizante a aplicar depende de la fertilidad del suelo y la frecuencia de cosecha (López y Zeledón, 2016).

## **Lombricompost**

El lombricompost es un abono orgánico el cual se da como resultado de la transformación de un residuo orgánico por la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). Las lombrices ingieren, trituran, mezclan, defecan, movilizan y airean los residuos orgánicos, optimizando la actividad y proliferación de los microorganismos, produciendo un agregado notable de bacterias que actúan sobre los nutrientes macromoleculares degradándolos a estados directamente asimilables por las plantas (Fallas y Escoto, 2007). Por esta razón el lombricompost es un abono con una gran concentración de nutrientes; una tonelada de humus de lombriz equivale a 10 toneladas de estiércol. El lombricompost tiene ventajas como que el nitrógeno no se pierde por la descomposición, el fósforo es asimilable, tiene alto contenido de auxinas y hormonas vegetales que influyen de manera positiva en el crecimiento de las plantas y tiene un pH estable de entre 7 y 7,50 (Bustamante, 2016).

### **Uso de lombricompost en la producción de forrajes**

El uso de lombricompost tuvo efectos positivos tanto en la producción de biomasa como en la composición bromatológica de los forrajes de plantas arbustivas como en el caso de la *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) en comparación con plantas a las cuales no se aplicó ningún tipo de fertilización (Pedroza, 2017). Además, se han logrado evidenciar efectos positivos de la fertilización con lombricompost en pastos de piso como *Brachiaria brizantha* cv. Toledo, un estudio realizado en Costa Rica por Víquez (2006), evidenció un incremento en la producción de MS, con respecto al tratamiento en donde no se aplicó ningún tipo de fertilización.

El uso de lombricompost promueve la sustentabilidad y aprovechamiento de los recursos, ya que muchas veces este tipo de abonos puede producirse en la propia finca y esto a su vez ayudará a que se realice un adecuado manejo de los residuos y desechos (Pezo y García, 2018; Flores, *et al.*, 2012).

### **Efecto de la fertilización en las plantaciones de *Tithonia diversifolia***

Estudios realizados recientemente evidenciaron que la fertilización nitrogenada química tiene un efecto positivo sobre la producción de forraje y las características nutricionales de *T. diversifolia* (Cerdas, 2018; Botero, *et al.*, 2019). Botero, *et al.* (2019), en un estudio del efecto de diferentes niveles de fertilización química sobre parámetros agronómicos y calidad nutricional del forraje de *T. diversifolia*, encontraron que esta planta posee una alta capacidad de absorción de nutrientes, reflejada en una alta producción de biomasa y un aumento en la calidad nutricional con el incremento en los niveles de fertilización, lo cual justifica dicha práctica y la búsqueda de los niveles óptimos; es decir, la dosis de fertilizante donde se produzca la mayor producción de biomasa con la mejor calidad bromatológica y de digestibilidad del forraje.

En el estudio de Botero, *et al.* (2019) también se observó el efecto de la fertilización sobre la relación hoja-tallo en las plantas de *T. diversifolia*, los autores encontraron que conforme se aumentan los niveles de fertilización, esta relación disminuye debido al aumento considerable del tamaño de tallos. Lo anterior también tiene un efecto directo sobre la producción de biomasa (aumenta conforme se incrementa la fertilización) y la composición bromatológica, ya que al disminuir la relación hoja-tallo, aumentan los porcentajes de fibras y disminuye la digestibilidad de la planta. Esto indica que es necesario encontrar un equilibrio en los niveles de fertilización para obtener niveles adecuados de producción, pero sin afectar considerablemente la calidad nutricional del forraje.

En el caso del estudio realizado por Cerdas (2018), las dosis crecientes de nitrógeno causaron una tendencia de *T. diversifolia* a incrementar la producción de forraje seco, el contenido de hojas del forraje y el porcentaje y producción de proteína, pero sólo mostró significancia la diferencia entre las dosis de 100 Kg y 200 Kg N/ha/año.

Basado en estas investigaciones, se ha comprobado que la fertilización tiene un efecto positivo sobre la producción de forraje y las características nutricionales de este, de aquí que, sea importante

evaluar el efecto de la fertilización orgánica, que además de generar un aporte nutricional a la planta y suelo, es una forma de gestionar de forma eficiente los residuos sólidos de los sistemas ganaderos.

### **Calidad nutricional de los forrajes y su efecto sobre parámetros ruminales**

El factor más importante que influye en la respuesta de la producción de un animal es la cantidad total de nutrientes absorbidos. Por tanto, el consumo y la digestibilidad son parámetros clave en cualquier sistema de evaluación de alimentos (Naranjo y Cuartas, 2011). Factores como la fertilización y la edad de cosecha, tienen un efecto directo sobre la composición bromatológica de los forrajes, a su vez esta composición tiene un efecto sobre parámetros ruminales como los niveles de nitrógeno amoniacal, el potencial de hidrógeno (pH), la producción de gas y la cinética ruminal.

#### ***Nitrógeno amoniacal***

En el rumen, la proteína verdadera se degrada a péptidos y aminoácidos, luego eventualmente se desamina en amoníaco, el nitrógeno amoniacal es considerado un recurso esencial para el crecimiento de los microorganismos ruminales, por lo que es conveniente su aporte constante y en cantidades apropiadas (Rodríguez, *et al.*, 2007). El 90% de las especies de bacterias en el rumen utilizan el amonio como principal fuente de nitrógeno para su crecimiento. Se ha estimado que entre el 40 y el 100% de la proteína microbiana deriva del amoniaco y esta proporción variará en función de las condiciones ruminales y alimentarias (Castillo y Domínguez, 2019).

La estrategia más eficaz para reducir las pérdidas de nitrógeno en los rumiantes es la manipulación de la eficiencia del uso del nitrógeno en el rumen, aumentando la utilización de nitrógeno por los microorganismos mediante un adecuado aporte energético a nivel ruminal. La concentración de amonio debería estar dentro de un rango de 8,80 a 17,60 mmol L<sup>-1</sup> (INTA, 2014).

#### ***pH ruminal***

El tipo de dieta suministrada es un factor determinante en las fluctuaciones del pH ruminal, aunque los rumiantes poseen un sistema altamente desarrollado para mantener el pH dentro de los

límites fisiológicos (5,50 a 7). El pH ruminal está dado por el equilibrio entre las tasas de producción y remoción de AGV obtenidos de la fermentación de los forrajes, los suplementos ingeridos y la adición de soluciones tampón al rumen a través de la saliva. La disminución en el pH ruminal es comúnmente observada en dietas altas en concentrado o carbohidratos rápidamente fermentables y lo que es considerado como uno de los principales factores de la disminución en la degradación de la fibra (Castillo, 2018).

#### ***Estimación de la producción de gas y metano entérico in vitro***

La producción de CH<sub>4</sub> en los rumiantes está influenciada por factores como consumo de alimento, composición de la dieta, digestibilidad del alimento, procesamiento previo del alimento y frecuencia de alimentación. Entre las estrategias para mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> se ha propuesto la manipulación dietética–nutricional, incluyendo el uso de forrajes de alta calidad en la dieta, reduciendo las emisiones de CH<sub>4</sub> por la modificación de la fermentación ruminal, inhibiendo directamente los microorganismos metanogénicos y protozoarios, o desviando los iones hidrógeno de los metanogénicos (Bonilla y Lemus, 2012).

Según López (2017), cuando los rumiantes consumen dietas altas en carbohidratos estructurales como los forrajes, se generan ambientes ruminales con pH mayor a 6 lo cual favorece la actividad de los organismos metanogénicos. También el alimentar con dietas bajas en proteína y altos contenidos de energía proveniente de fibras o azúcares, en condiciones de pH superior a 6, predisponen a un aumento de la metanogénesis en el rumen.

Sotelo, *et al.* (2016) indican que la utilización de plantas leguminosas y arbustivas son una alternativa viable, ya que estos forrajes tienen la capacidad de reducir la metanogénesis debido a que poseen menor contenido de fibra, mayor contenido de proteína y mayor digestibilidad.

### ***Cinética de la degradabilidad ruminal in situ***

La digestión de los rumiantes es un proceso complejo que involucra múltiples interacciones entre la dieta, los microorganismos ruminales y el hospedero. Los tejidos de las plantas forrajeras pueden ser divididos en tres tipos: material rápidamente fermentable, material de lenta fermentación y material indigestible (Rosero y Posada, 2007).

En las primeras horas de fermentación una parte del sustrato, principalmente los azúcares solubles son fermentados inmediatamente; sin embargo, sólo constituyen una pequeña parte del material potencialmente digestible (Reyes, 2012). A medida que el proceso fermentativo continúa, una menor cantidad de material es hidratado y colonizado por los microorganismos ruminales, lo que origina diferentes tasas de degradación dependiendo de la concentración de carbohidratos estructurales, contenido de lignina y estado de madurez de la planta (Alesso, 2014).

La técnica *in situ* ofrece la posibilidad de estudiar la degradabilidad ruminal de los alimentos a través de la utilización de sacos de nylon suspendidos en el rumen. Esta técnica ha sido utilizada debido a su gran aproximación a los resultados *in vivo* (Rosero y Posada, 2007). Este método también puede ser usado para describir las características de degradación de los componentes estructurales del forraje y del nitrógeno del forraje (Valdez, 2013). El modelo propuesto por Orskov y McDonald ha sido el más utilizado (Pulido y Leaver, 2000). Este modelo mide el tiempo de incubación como variable independiente (X) y las variables potencialmente digestibles (Y), obteniéndose el coeficiente de regresión y formulando una curva de mejor ajuste (Roa y Muñoz, 2012).

### Capítulo III. Efecto de fertilización y edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia*

#### Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto del tipo de fertilizante y la edad de rebrote sobre rendimiento y composición bromatológica del forraje de *Tithonia diversifolia*. El trabajo se realizó entre los años 2020 y 2021 en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional Costa Rica. Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar: tipo de fertilización (parcela) y edad de rebrote (subparcela) con 3 repeticiones por tratamiento. Los tipos de fertilizante fueron: lombricompost (L), químico (Q) y un control (C) sin uso de fertilizante. Las edades de rebrote evaluadas fueron 30, 50 y 70 días para un total de 9 tratamientos. Las variables evaluadas fueron: producción de biomasa, relación hoja/tallo y composición bromatológica (materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas, fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA), lignina (Lig), fibra en detergente neutro digestible (dFDN), carbohidratos no fibrosos (CNF), contenido de total de nutrientes digestibles (TND) y energía neta de lactancia (EN<sub>L</sub>)). Para el análisis de los datos se utilizó un ANOVA para parcelas divididas. El tratamiento Q70 fue el que alcanzó la mayor producción de biomasa (77,18 Ton de materia verde (MV)/ha y 7,10 Ton MS/ha), mientras que la mayor relación hoja/tallo (1,77) se obtuvo en el C30. El contenido de PC mayor se encontró en el Q30 (27,61%MS). El tipo de fertilizante tuvo un efecto significativo sobre las variables de MS, PC, FDN, cenizas y CNF, mientras que la edad de rebrote sólo no generó efectos significativos sobre las variables dFDN y CNF. Los contenidos de FDN oscilaron entre 30,23 y 46,29%, los CNF entre 21,08 y 29,11% y la EN<sub>L</sub> entre 1,34 y 1,42 Mcal/Kg MS. La fertilización y la edad de rebrote demostraron influir sobre el rendimiento, la relación hoja/tallo y la composición bromatológica de la *T. diversifolia*. Los resultados demostraron una respuesta inmediata a la fertilización química, pero se requieren estudios por periodos más prolongados para evidenciar el efecto del fertilizante orgánico.

**Palabras clave:** alimentación animal, calidad nutricional, ganadería, producción de biomasa, forrajes

### **Abstract**

The objective was to evaluate the effect of the type of fertilizer and the age of regrowth on yield and bromatological composition of the forage of *Tithonia diversifolia*. The work was carried out between 2020 and 2021 at the Finca Experimental Santa Lucía of the Universidad Nacional Costa Rica. A completely randomized divided plot design was used type of fertilization (plot) and regrowth age (subplot) with 3 replicates per treatment. The types of fertilizer were vermicompost (L), chemical (Q) and a control (C) without the use of fertilizer. The regrowth ages evaluated were 30, 50 and 70 days for a total of 9 treatments. The variables evaluated were biomass production, leaf/stem relation and bromatological composition (dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), ashes, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin (Lig), digestible neutral detergent fiber (dFDN), non-fibrous carbohydrates (NFC), total digestible nutrient content (TDN) and net energy from lactation (NE<sub>L</sub>). ANOVA for split plots was used for data analysis. The Q70 treatment was the one that reached the highest biomass production (77.18 Ton of green matter (GM)/ha and 7.10 Ton MS/ha), while the highest leaf/stem relation (1.77) was obtained in the C30. The highest CP content was found in Q30 (27.61% DM). The type of fertilizer had a significant effect on the variables of DM, CP, NDF, ashes and NFC, while the regrowth age only did not generate significant effects on the variables dFDN and NFC. NDF contents ranged between 30.23 and 46.29%, NFC between 21.08 and 29.11% and EN<sub>L</sub> between 1.34 and 1.42 Mcal/Kg MS. Fertilization and regrowth age were shown to influence yield, leaf/stem relation and bromatological composition of *T. diversifolia*. The results showed an immediate response to chemical fertilization, but studies for longer periods are required to demonstrate the effect of organic fertilizer.

**Keywords:** animal feed, nutritional quality, livestock, biomass production, forages

## Introducción

La ganadería juega un papel muy importante en la economía mundial, debido a que contribuye con un 40% del producto interno bruto agrícola, genera empleo para 1300 millones de personas, suministra un tercio del consumo mundial de proteínas (Vega, 2016) y aporta el 15% del total de la energía alimentaria (Arciniegas y Flórez, 2018).

La alimentación de rumiantes en el trópico se basa en el uso de pastos y forrajes (Jiménez, 2018), los cuales presentan desventajas como altos contenidos de fibra, bajos contenidos de proteína, de carbohidratos solubles, de energía y poca digestibilidad aparente (Ku-Vera, *et al.*, 2014). Además, la estacionalidad afecta de manera directa su productividad y aprovechamiento (Villalobos, *et al.*, 2013). Por lo que los productores se ven obligados a buscar alternativas alimenticias que aumenten la calidad de la dieta ofrecida a los animales, que estén disponibles durante todo el año, que representen una reducción en los costos de alimentación, y que promuevan un manejo eficiente de los residuos y de insumos como los fertilizantes (Vega, 2016).

Dentro de estas alternativas se contempla el establecimiento de bancos forrajeros, los cuales han demostrado ser una estrategia nutricional viable para la suplementación de los rumiantes en el trópico (Cardona, Mahecha y Angulo, 2017), ya que estos aumentan la disponibilidad de biomasa y de proteína de alta calidad ofrecida a los animales, a menores costos económicos, además, de tener efectos positivos en la recuperación y conservación de suelos, debido a la fijación de nitrógeno y la promoción de relaciones planta-microorganismos que facilitan el reciclaje de nutrientes (Navas, 2019).

La *T. diversifolia* es una planta arbustiva autóctona de Mesoamérica, que posee características agronómicas y bromatológicas que sugieren un alto potencial para la alimentación de rumiantes, destacándose; la adaptación a suelos de baja fertilidad, baja utilización de insumos, alta producción de biomasa, altos porcentajes de proteína cruda (PC) y alta degradabilidad de la materia seca (Arias, *et al.*, 2018; Paniagua, *et al.*, 2020; Astúa, Campos y Rojas, 2021). No obstante, es sabido que el rendimiento y

la calidad nutricional del forraje para la alimentación de rumiantes depende del momento óptimo de cosecha para alcanzar el punto de equilibrio entre su valor nutricional óptimo y una producción de biomasa máxima (Merlo, *et al.*, 2017). En el caso de *T. diversifolia* existen varias investigaciones que han demostrado que la edad de cosecha juega un papel primordial sobre el rendimiento y la composición bromatológica (Navas y Montaña 2019; Guatusmal, Escobar, Meneses, Cardona y Castro, 2020; Paniagua, *et al.*, 2020).

Otra variable que influye en el rendimiento y calidad de los forrajes es la fertilización, debido a su efecto positivo en el contenido de proteína, la digestibilidad, relación hoja/tallo y la producción de biomasa (Cerdas, 2011). Diversos autores han demostrado que al fertilizar la planta de *T. diversifolia* con nitrato de amonio se logra un efecto positivo en el rendimiento de biomasa y los contenidos nutricionales (Cerdas, 2018; Botero, *et al.*, 2019; Dos Santos, *et al.*, 2021). Sin embargo, no existen estudios que demuestren la respuesta de esta planta a la aplicación de fertilizante orgánico, tampoco trabajos que comparen el efecto de la fertilización química u orgánica a diferentes edades de cosecha.

Por esta razón, en el presente trabajo se evaluaron los efectos simultáneos de la aplicación de dos tipos de fertilizante; químico y orgánico y tres edades de rebrote; 30, 50 y 70 días en las plantas de *T. diversifolia*. sobre la producción de biomasa y la composición bromatológica para la validación y el desarrollo de alternativas de alimentación sustentables y ecológicas orientadas a los sistemas de producción con rumiantes.

### **Materiales y métodos**

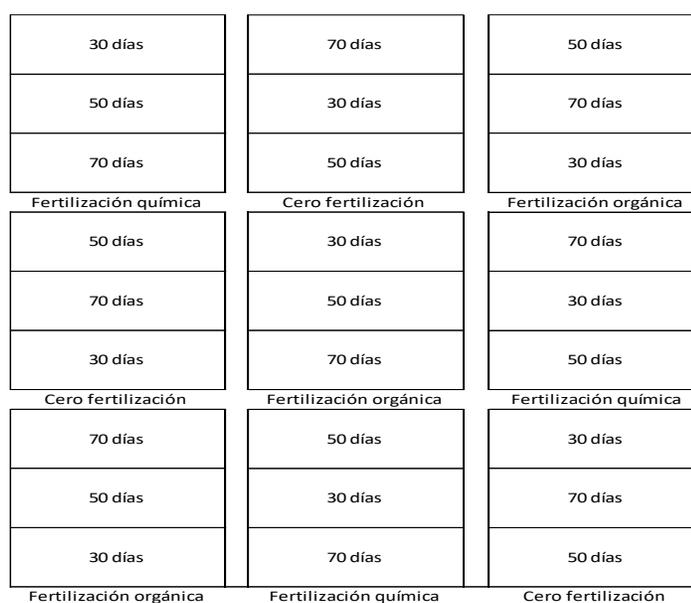
*Características del sitio experimental:* La investigación se llevó a cabo en el año 2020 durante la época lluviosa (junio-septiembre) en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) perteneciente a la Universidad Nacional Costa Rica, ubicada en Santa Lucía, Barva de Heredia, entre las 10°1'20" latitud norte y 84°06'45" longitud oeste, altitud de 1250 msnm. El suelo es predominante del orden Andisoles. La topografía varía de plana a escarpada, con suelos superficiales a profundos, moderadamente fértiles,

bien estructurados y mucha pedregosidad (Gómez y Montes de Oca, 1999). El sitio presenta una precipitación anual de 2371 mm, una humedad relativa de 78%, y temperatura media anual de 21,50 °C (IMN, 2017).

*Establecimiento y manejo del cultivo:* La *T. diversifolia* (Variedad INTA-Quepos) se estableció en el año 2018, en un área de 1000 m<sup>2</sup>, con una densidad de siembra de 2 plantas/m<sup>2</sup> (1 m entre surcos y 0,50 m entre plantas). La preparación del suelo se realizó mediante el método de mínima labranza. No se aplicaron herbicidas, fertilizantes ni riego. Para el establecimiento de las parcelas se utilizaron estacas (semilla vegetativa) de 20-30 cm de longitud tomadas del primero y segundo tercio del tallo, sembrando una estaca por sitio de manera vertical, en un hueco elaborado con macana. El forraje fue cosechado por primera vez a los 5 meses (150 días). Antes de iniciar el ensayo de campo se realizó un corte de homogenización en todo el cultivo, a una altura de 0,50 m del suelo, tomando como referencia las recomendaciones realizadas por Arronis (2015). En el terreno de 1000 m<sup>2</sup>, se trazaron 9 parcelas de 112 m<sup>2</sup> (8 × 14 m) con una zona de amortiguamiento de 2 m.

*Diseño experimental y tratamientos:* Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar donde se evaluaron: i) tipo de fertilización (parcela) con tres niveles: abono orgánico (lombricompost= L), fertilizante químico (urea= Q) y un control sin aplicación de fertilización (C) y, ii) edad de rebrote (subparcela) con tres niveles: 30, 50 y 70 días. En total se establecieron 9 parcelas (L30, L50, L70, Q30, Q50, Q70, C30, C50 y C70) con 3 repeticiones por tratamiento (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de distribución de los tratamientos en las parcelas divididas en la plantación experimental de *T. diversifolia*.



Fuente: Elaboración propia

Como fertilizante orgánico se utilizó lombricompost de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) producido en la FESL, a base de estiércol de ganado bovino. La cantidad de lombricompost a utilizar se calculó a partir de la concentración de nitrógeno en el humus y la materia seca del mismo, con la finalidad de proveer 150 Kg N/ha/año al terreno (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química del lombricompost producido en la Finca Experimental Santa Lucía a base de estiércol bovino.

Ms	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
		%						mg/Kg		
40	1,43	0,58	0,82	1,72	0,56	124	213	968	38130	15

Fuente: Elaboración propia (Análisis realizados en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica)

Como fertilizante químico se utilizó urea, en la misma dosis que la fuente orgánica (150 Kg N/ha/año). La materia seca de los fertilizantes fue de 98,50% para la urea y 40% para el lombricompost, el contenido de nitrógeno fue de 46% en la urea y del 1,43% en el abono orgánico, para garantizar el

aporte de 150 Kg N/ha/año. En cada una de las parcelas experimentales se utilizaron 0,016 Kg de urea por planta (331,05 Kg/ha) y 1,31 Kg de lombricompost por planta (26220 Kg/ha) (Tabla 2).

#### *Variables a evaluar*

*Producción de materia seca y relación tallo/hoja:* Se cortó el forraje de 20 plantas por subparcela a una altura de 50 cm. El material fue pesado utilizando una balanza digital marca UWE, modelo AXM-30K (con capacidad máxima de medición de 30 Kg y una precisión de 0,10 g) de esta manera se estimó la producción de materia verde en Kg/planta. De las 20 plantas muestreadas se tomó una submuestra representativa de 1 Kg, la cual fue llevada al Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la UNA (LAPAV), en donde se determinó el contenido de materia seca (MS) mediante la metodología del AOAC (1998). Se calculó la producción de biomasa en términos de MS, de cada uno de los tratamientos evaluados según la siguiente ecuación:

Producción de biomasa en MS= Rendimiento de biomasa obtenido por el contenido de MS.

Para la evaluación de la relación hoja/tallo se separaron las hojas y tallos de las 20 plantas muestreadas, para determinar el peso de hojas y tallos (Kg) y calcular la relación hoja/tallo.

*Composición bromatológica:* Se colectaron muestras de 1 Kg de planta entera de cada una de las subparcelas, las cuales fueron troceadas en fragmentos de 2,50 cm utilizando una picadora para forrajes de motor eléctrico de 7,50 HP, modelo ES 650 marca Trapp. Las muestras fueron empacadas en bolsas transparentes de manera individual, debidamente identificadas y trasladadas al LAPAV.

Para determinar la composición bromatológica de *T. diversifolia* se realizaron los siguientes análisis: MS a 60 y 105°, PC Kjeldahl (Nx6,25) y cenizas (CEN), según la metodología descrita por el AOAC (1998). La fibra en detergente neutro (FDN), fibra en detergente ácido (FDA) y la lignina se estimaron de acuerdo con la metodología descrita por Van-Soest, Robertson y Lewis (1991). La fibra en detergente neutro digestible (dFDN), los carbohidratos no fibrosos (CNF) y el contenido total de nutrientes digestibles

(TND) se estimaron por medio de la ecuación descrita en la investigación de Detmann, *et al.* (2008). La energía neta de lactancia ( $EN_L$ ), se estimó utilizando las ecuaciones propuestas por el NRC (2001).

*Análisis estadístico:* Con los resultados obtenidos se realizaron análisis de varianza para parcelas divididas según lo descrito por Kaps y Lamberson (2004). Las medias se contrastaron mediante la prueba de Tukey al 5% de significancia. La comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza según prueba de Levene. Los datos se analizaron con el software estadístico SAS® versión 9.0 (SAS Institute Inc, 2009).

### Resultados y discusión

*Rendimiento productivo:* Se evidenció un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,001$ ) del tipo de fertilización, la edad de rebrote y la interacción fertilización\*edad de rebrote en la producción de biomasa MV (Ton/MV/ha) y MS (Ton/MS/ha), producción de hojas, tallos por planta y la relación hoja/tallo (Tabla 3).

Tabla 3. Producción de biomasa en términos de materia fresca (MV) y seca (MS), producción de hojas, tallos y relación hoja/tallo de la *T. diversifolia* según tipo de fertilización y edad de rebrote.

Tratamiento	Producción Ton/MV/ha	Producción Ton/MS/ha	Hojas Kg/planta	Tallos Kg/planta	Relación hoja/tallo
C30	7,84 <sup>e</sup>	0,83 <sup>d</sup>	0,24 <sup>d</sup>	0,15 <sup>e</sup>	1,77 <sup>a</sup>
C50	21,13 <sup>cd</sup>	2,50 <sup>c</sup>	0,52 <sup>c</sup>	0,54 <sup>cd</sup>	1,12 <sup>c</sup>
C70	36,25 <sup>b</sup>	4,14 <sup>b</sup>	0,77 <sup>b</sup>	1,04 <sup>b</sup>	0,81 <sup>d</sup>
L30	8,22 <sup>e</sup>	0,73 <sup>d</sup>	0,24 <sup>d</sup>	0,17 <sup>e</sup>	1,61 <sup>b</sup>
L50	23,28 <sup>c</sup>	2,62 <sup>c</sup>	0,54 <sup>c</sup>	0,62 <sup>c</sup>	0,92 <sup>d</sup>
L70	35,96 <sup>b</sup>	3,96 <sup>b</sup>	0,71 <sup>b</sup>	1,08 <sup>b</sup>	0,70 <sup>d</sup>
Q30	13,66 <sup>de</sup>	1,18 <sup>d</sup>	0,35 <sup>d</sup>	0,33 <sup>de</sup>	1,12 <sup>c</sup>
Q50	38,63 <sup>b</sup>	3,56 <sup>b</sup>	0,70 <sup>b</sup>	1,23 <sup>b</sup>	0,60 <sup>d</sup>
Q70	77,18 <sup>a</sup>	7,10 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	2,78 <sup>a</sup>	0,39 <sup>e</sup>
Error estándar	0,5384	0,0551	0,0121	0,0284	0,0101
p-valor Fertilización	0,0037	0,0402	0,0274	0,0274	0,0020

p-valor Edad de rebrote	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Fertilización*Edad de rebrote	<0,0001	<0,0001	0,0006	0,0006	<0,0001

Fuente: Elaboración propia. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas  $p < 0,05$  (Tukey). Producción Ton/MV/ha=Producción toneladas materia fresca por hectárea por corte, Producción Ton/MS/ha= Producción toneladas materia seca por hectárea por corte. Hojas Kg/planta=Kilogramos de hojas por planta. Tallos Kg/planta= Kilogramos de tallos por planta.

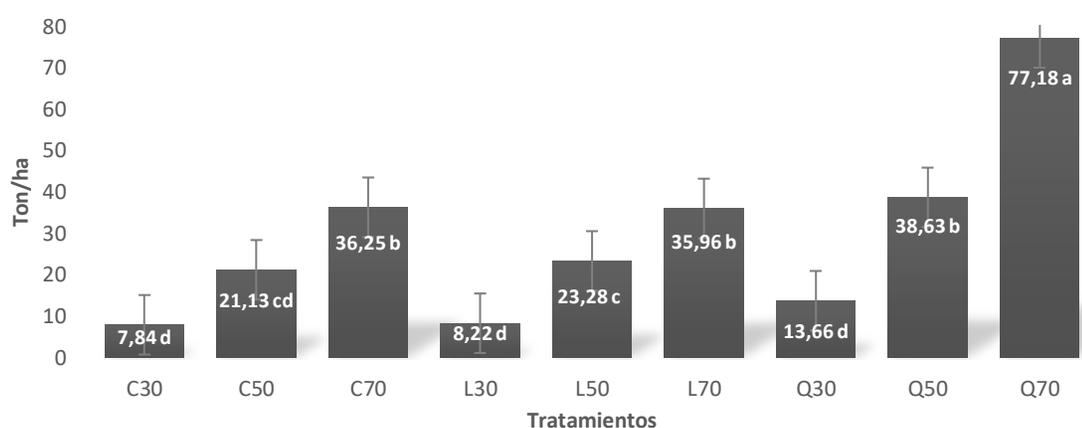
Existe la tendencia de obtener valores productivos superiores en plantas fertilizadas con urea (tratamientos Q), lo que indica una respuesta positiva de *T. diversifolia* a la fertilización química (Tabla 3). Lo anterior explica el efecto significativo de la fertilización evidenciado por el análisis estadístico ( $p < 0,0402$ ).

Los valores más altos de producción de biomasa tanto en MV (77,18 Ton/MV/ha) como en MS (7,10 Ton/MS/ha) se encontraron en el Q70, siendo este significativamente superior respecto a los demás tratamientos evaluados, seguido por los C70, Q50 y L50 (Tabla 3). Por otro lado, es posible predecir un efecto altamente significativo de la edad de rebrote, ya que, a mayor edad la planta produce mayor biomasa, lo que se traduce en incrementos en las variables medidas con el tiempo. Los rendimientos más bajos tanto en MV como en MS se obtuvieron en los tratamientos con la edad de rebrote de 30 días, a esa edad de cosecha no se encontraron diferencias significativas según el tipo de fertilización. Finalmente se observa un marcado efecto del tipo de fertilización, pero únicamente en las edades de rebrote de 50 y 70 días y no a los 30 días (Tabla 3), lo que explica la interacción significativa evidenciada en el análisis estadístico

La producción de MV y MS no fue distinta cuando las plantas tenían una edad de rebrote de 30 días, esto indica que, con una edad igual o menor a 30 días las plantas de *T. diversifolia* tuvieron la capacidad de aprovechar los nutrientes del fertilizante químico. Como se mencionó previamente, a la edad de 50 días de rebrote se evidenció un efecto del tipo de fertilización sobre la producción de forraje

tanto en términos de MV como de MS; por ejemplo, el Q50 fue significativamente diferente a los otros dos tratamientos de la misma edad, siendo el Q50 un 82,82% superior al C50 y 65,94% del L50 (Figura 2). El Q50 no se diferenció estadísticamente de los C70 y L70, este comportamiento se puede explicar debido a que los fertilizantes químicos poseen la capacidad de liberar de manera más acelerada los nutrientes y los forrajes logran absorberlos más rápido que en el caso de los abonos orgánicos. Los abonos orgánicos debido a sus características necesitan de un mayor tiempo para poder realizar los procesos de liberación, mejora del suelo y ser absorbidos por las plantas (Santiesteban, *et al.*, 2021).

Figura 2. Producción de biomasa en términos de materia verde del forraje de *T. diversifolia* según tipo de fertilización y edad de rebrote



Fuente: Elaboración propia

En este estudio los rendimientos en MV del forraje de *T. diversifolia* oscilaron entre 7,84–77,18 Ton/MV/ha, lo cual concuerda con otros estudios desarrollados han reportado producciones entre 20 y 30 Ton/MV/ha por corte de forraje de *T. diversifolia* a edades de rebrote entre los 40 y 70 días sin uso de fertilizantes o con pequeñas cantidades de abonos orgánicos (excretas animales) Sin embargo, los valores obtenidos por los diferentes autores han sido similares a los observados en esta investigación a la edad de rebrote de 50 días y a los 70 días sin fertilización y con fertilización orgánica. A la edad de rebrote de 30 días el rendimiento producido en la presente investigación fue menor al compararlo con los trabajos

realizados por otros autores. Finalmente, en el caso del tratamiento con fertilización química la producción fue superior a lo reportado en la literatura (Arronis y Abarca, 2017; Arias, 2018; Navas y Montaña, 2019; Guatusmal, *et al.*, 2020; Paniagua, *et al.*, 2020).

Según Botero, *et al.* (2019), la *T. diversifolia* alcanza producciones de MV entre las 17,33 y 20,19 Ton/MV/ha cuando ha sido fertilizada con niveles de 160 y 250 Kg/N/ha anuales respectivamente. Por otra parte, en Costa Rica Cerdas (2018) reportó producciones de 20,71 Ton/MV/ha al aplicar 200 Kg/N/ha anuales, ambos estudios se realizaron en plantaciones con densidades de 10000 plantas/ha y con edades de rebrote de 50 y 49 días. Estos resultados son similares a los obtenidos con la fertilización orgánica (23,28 Ton/MV/ha), e inferiores a los obtenidos con la fertilización química (38,63 Ton/MV/ha), estas diferencias productivas se pueden explicar debido a que los rendimientos de esta planta varían dependiendo de las condiciones edáficas y climáticas, nivel y tipo de fertilización (Castillo, Betancourt, Toral y Iglesias, 2016).

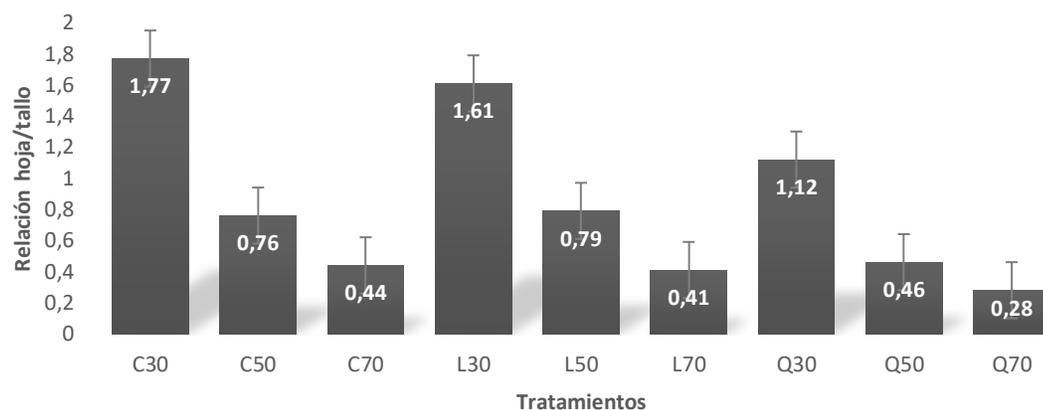
Los rendimientos en MS oscilaron de las 0,83 a 7,10 Ton/MS/ha, resultados similares fueron reportados en otras investigaciones, en las cuales la producción de biomasa de *T. diversifolia* varió entre 1 y 4,20 Ton/MS/ha, dependido de las condiciones edáficas y climáticas (Castillo, *et al.*, 2016; Arias, 2018; Guatusmal, *et al.*, 2020; Paniagua, *et al.*, 2020). Al comparar el rendimiento obtenido en el Q70 (7,10 Ton/MS/ha) con lo reportado en la literatura, se observa que en el presente estudio se obtuvo un valor 1,69 veces más alto, lo cual es favorable para la producción de forraje. Otros trabajos indican que es posible incrementar todavía más el rendimiento de *T. diversifolia* en condiciones similares a este estudio (edad de rebrote de 70 días y fertilización de 150 Kg/N); para esto, es requerido aplicar riego, ya que se observó una relación positiva entre la fertilización y el riego sobre la producción de forraje de esta planta (Dos Santos, *et al.*, 2021).

En el presente estudio como en los realizados por Botero, *et al.* (2019), Cerdas (2018) y Dos Santos, *et al.* (2021), se logró evidenciar un aumento significativo en el rendimiento productivo de la planta de *T. diversifolia* al aplicar fertilización nitrogenada química.

En lo que respecta a la producción de hojas y tallos se evidenció un efecto similar al obtenido en el rendimiento de MV y MS, donde se detectó un incremento significativo tanto de hojas como en tallos al aumentar la edad de las plantas. La producción de hojas y tallos más alta se obtuvo en el Q70, mientras que las producciones más bajas de hojas y tallos se encontraron en los tratamientos con edad de cosecha de 30 días (Tabla 3).

La relación hoja/tallo constituye una de las variables más importantes de analizar, debido a que de esta depende en gran medida la palatabilidad y los niveles de consumo de un forraje. Según estudios realizados la relación hoja/tallo para *T. diversifolia* oscila en el rango de 0,95 y 1,40 (Gallego, Machena y Ángulo, 2017; Holguin, *et al.*, 2015). Por lo que los resultados obtenidos en los tratamientos con edad de rebrote de 30, 50 y 70 días sin fertilización y fertilización orgánica están dentro de los rangos normales de relación hoja/tallo de este forraje (Figura 3). En el caso de los tratamientos con fertilizante químico a edades de 50 y 70 días la relación hoja/tallo fue menor, pero similar al obtenido en la investigación de Botero, *et al.* (2019), quienes reportaron que las plantas a las que se les aplicó más de 200 Kg/N/ha presentaron una mayor producción de tallos debido a que la planta se desarrolla más aceleradamente.

Figura 3. Relación hoja/tallo de las plantas de *T. diversifolia* según tipo de fertilización y edad de rebrote



Fuente: Elaboración propia

*Composición bromatológica:* El MS% fue significativamente influenciado por el tipo de fertilizante ( $p=0,0004$ ) y la edad de rebrote ( $p=0,0004$ ) (Tabla 4). El MS% más alto se encontró en las plantas sin fertilización (11,27%), siendo este significativamente diferente a los tratamientos donde se utilizó fertilizante orgánico (10,43%) o químico (9,04%) (Figura 4). En el caso de la edad de rebrote los contenidos más altos se encontraron en las edades de cosecha de 50 y 70 días (10,80 y 10,56%) respectivamente, siendo significativamente superiores a los obtenidos en la edad de rebrote de 30 días (9,38%) (Figura 4).

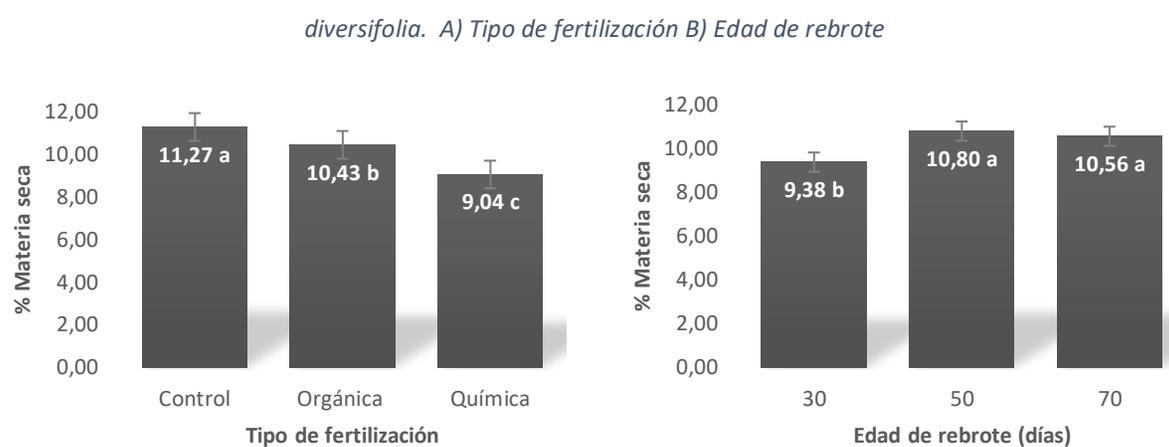
Tabla 4. Composición bromatológica de la *T. diversifolia* según tipo de fertilización y edad de rebrote.

Tratamiento	MS%	PC%	FDN%	FDA%	LIG%	<sup>a</sup> FDN (%FND)	CEN%	CNF%	TND%	EN <sub>L</sub> (Mcal/Kg MS)
C30	10,58	19,53 <sup>b</sup>	29,04	21,80	14,86	20,01	15,39	30,00	63,75	1,44
C50	11,81	12,88 <sup>c</sup>	37,69	30,68	21,12	16,06	13,83	29,81	62,43	1,41
C70	11,43	10,12 <sup>c</sup>	44,28	36,45	21,81	20,78	13,17	27,52	59,62	1,34
L30	8,92	22,26 <sup>b</sup>	29,95	21,67	14,65	22,92	15,16	26,84	62,88	1,42
L50	11,31	13,24 <sup>c</sup>	36,52	29,10	18,60	18,97	13,71	31,26	62,17	1,40
L70	11,05	12,11 <sup>c</sup>	41,96	34,92	24,36	13,83	13,29	27,51	60,57	1,36
Q30	8,64	27,61 <sup>a</sup>	31,71	22,45	15,46	21,79	15,24	19,36	61,39	1,38
Q50	9,27	19,13 <sup>b</sup>	39,62	31,47	19,14	20,92	11,97	23,08	62,43	1,41
Q70	9,20	11,57 <sup>c</sup>	52,64	41,52	22,80	27,92	10,41	20,81	58,96	1,33
Error estándar	0,094	0,250	0,462	0,446	0,912	1,665	0,186	0,527	0,266	0,006
p-valor Fertilización	0,004	0,006	0,016	0,095	0,999	0,524	0,045	0,004	0,352	0,354
p-valor Edad de rebrote	0,004	<0,001	<,0001	<,0001	0,030	0,808	0,004	0,180	0,002	0,001
Fertilización*Edad de rebrote	0,105	0,0046	0,098	0,304	0,947	0,705	0,258	0,734	0,557	0,497

Fuente: Elaboración propia. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas  $p < 0,05$  (Tukey). MS%= Porcentaje de MS, PC%= Porcentaje de proteína cruda, FDN%=Porcentaje de fibra detergente neutro, FDA%=Porcentaje de fibra detergente ácido, LIG%=Porcentaje de lignina, <sup>a</sup>FDN= en detergente neutro digestible (Porcentaje de la fibra detergente neutro), EE%= Porcentaje de extracto etéreo, CEN%=Porcentaje de cenizas, CNF%=Porcentaje de carbohidratos no fibrosos, TND=Total de nutrientes digestibles, EN<sub>L</sub>=Energía neta de lactancia.

Los MS% obtenidos en la presente investigación oscilaron entre 9,04% con fertilización química, hasta el 11,27% sin fertilización (Figura 4), estos valores son similares a los obtenidos por Arronis y Abarca (2017), pero inferiores a los reportados por diversos autores (Jamarun, *et al.*, 2019; Rivera, *et al.*, 2019; Vega, *et al.*, 2019; Argüello, Mahecha y Angulo, 2020; Paniagua, *et al.*, 2020), quienes encontraron MS% superiores al 15%. Por otro lado, Rodríguez (2017) indica que las condiciones agroecológicas y el manejo del cultivo influyen en el MS% de *T. diversifolia*, el cual puede oscilar entre 13,50 y 35%.

Figura 4. Efecto del tipo de fertilización y edad de rebrote sobre el contenido de materia seca del forraje de *T.*



A

B

Fuente: Elaboración propia

Los mayores contenidos de MS en la planta *T. diversifolia* se encuentran en las hojas (Arronis y Abarca, 2017; Botero, *et al.*, 2019), por lo que la relación hoja/tallo en las plantas pudo tener un efecto sobre los porcentajes de MS encontrados en la presente investigación, ya que los tratamientos sin fertilización fueron los de mayor relación hoja/tallo y mayor concentración de MS. Es posible hipotetizar un efecto de la fertilización nitrogenada, ya que esta incrementa el número de brotes disminuyendo la proporción de hojas con respecto a los tallos (Huaman, Vásquez y Oliva, 2018), además, de acelerar el crecimiento con mayor producción de tallos (Botero, *et al.*, 2019), lo que coincide con lo observado en la presente investigación.

Con respecto a la edad de cosecha, el MS% aumentó de los 30 a los 50 días de rebrote, lo cual coincide con las investigaciones de autores como Guatusmal, *et al.* (2020) y Paniagua, *et al.* (2020), quienes evidenciaron que conforme se incrementa la edad de cosecha aumentan los contenidos de MS. Esto puede explicarse porque la proporción de agua va disminuyendo a medida que el forraje se va lignificando, comportamiento normal en la mayoría de los forrajes (Elizondo, 2017).

La variable PC% fue la única que presentó un efecto significativo de la interacción entre el tipo de fertilización y las edades de rebrote ( $p=0,0046$ ) (Tabla 4), para las demás variables bromatológicas esta interacción no tuvo un efecto significativo. El PC% también fue influenciada significativamente por el tipo de fertilización ( $p=0,0006$ ) y la edad de rebrote ( $p<0,0001$ ). Los valores más altos de PC% se encontraron en el tratamiento Q30 con un valor de 27,61%, este fue estadísticamente superior a los demás tratamientos evaluados. Los valores más bajos se obtuvieron en C70 (10,12%), el cual no fue distinto significativamente de los demás tratamientos con edad de cosecha de 70 días ni a los obtenidos sin fertilización y fertilización orgánica a edades de rebrote de 50 días (Tabla 4).

Los valores de PC obtenidos se encuentran dentro del rango descrito por diferentes autores en donde los contenidos de PC varían sustancialmente por las condiciones agroclimáticas, el manejo y la edad de cosecha (Gallego, *et al.*, 2017).

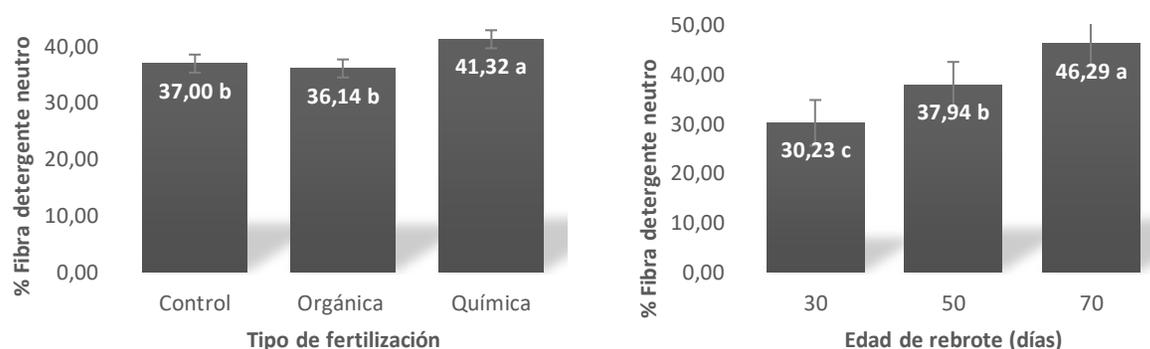
Los datos también revelaron que conforme aumentó la edad de rebrote, disminuyó el PC% de la MS del forraje de *T. diversifolia*, pero con un comportamiento distinto según el tipo de fertilización. Cuando se fertilizó con químico se dio una disminución significativa conforme aumentó la edad de cosecha del forraje. En el caso de los tratamientos control y con fertilización orgánica se dio una disminución significativa entre las edades de 30 y 50 días, pero no se encontraron diferencias significativas entre la edad de 50 y la de 70 días de rebrote (Tabla 4). Es posible que este comportamiento sea el resultado de la alta disponibilidad del nitrógeno del fertilizante químico para ser absorbida por la planta, el cual bioquímicamente se transforma en proteína (Elizondo, 2007). Por esta

razón los valores de PC% en el tratamiento con fertilización química fue estadísticamente superior a los otros dos desde la edad de cosecha de 30 días. Este comportamiento se mantuvo hasta los 50 días, ya en la edad de cosecha de 70 días los contenidos de PC% del tratamiento químico no fueron significativamente diferentes a los del tratamiento control ni el que se fertilizó con lombricompost (Tabla 4). Estos hallazgos pueden explicar la baja relación hoja/tallo observada en el tratamiento Q70, el cual fue significativamente menor a los demás tratamientos (Tabla 3). Esta información es relevante ya que este comportamiento condiciona la calidad del forraje porque la mayor cantidad de nutrientes se encuentran en las hojas (Arronis y Abarca, 2017).

La FDN% presentó un efecto significativo para las variables de fertilización ( $p=0,0157$ ) y edad de rebrote ( $p<0,0001$ ) (Tabla 4). Los contenidos más bajos de FDN se encontraron en plantas fertilizadas con lombricompost y en plantas sin fertilización con 36,14% y 37% de FDN respectivamente, siendo significativamente inferiores a los obtenidos con la fertilización química (41,32%). Por otro lado, el FDN% más bajo se encontró en la edad de rebrote de 30 días (30,23%), siendo este valor significativamente diferente a los de las edades de 50 (37,94%) y 70 días (46,29%) (Figura 5). Los FDN% encontrados en la presente investigación son consistentes con los obtenidos por diversas investigaciones (Rogerio, *et al.*, 2017; Arias, 2018; Rivera, *et al.*, 2019; Argüello, *et al.*, 2020; Guatusmal, *et al.*, 2020; Paniagua, *et al.*, 2020), pero inferiores a los reportados por (Botero, *et al.*, 2019; Navas y Montaña, 2019; Jamarun, *et al.*, 2019; Vega, *et al.*, 2019; Zamora, 2019).

Figura 5. Efecto del tipo de fertilización y edad de rebrote sobre el contenido de Fibra detergente neutro de *T.*

*diversifolia*. A) Tipo de fertilización B) Edad de rebrote



A

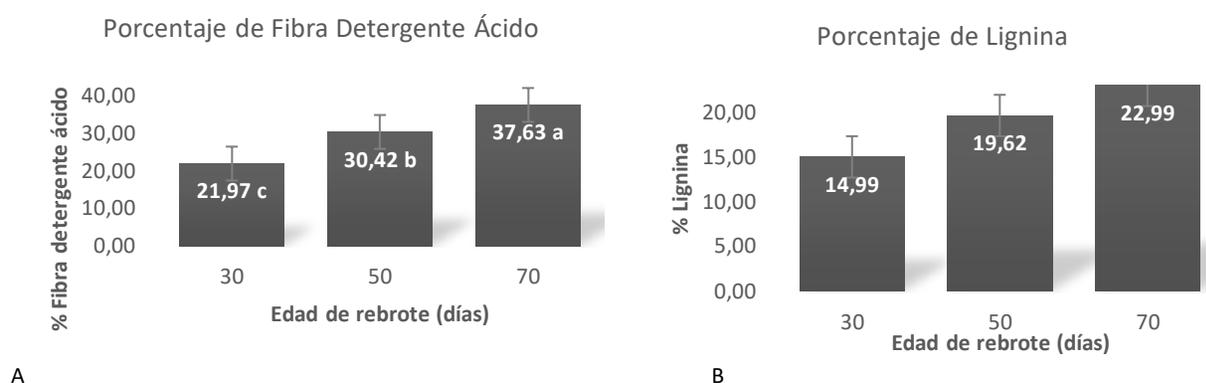
Fuente: Elaboración propia

B

Se ha reportado una correlación negativa entre la relación hoja/tallo y los contenidos de fibra del forraje de *T. diversifolia* conforme aumentan los niveles de fertilización nitrogenada (Botero, *et al.*, 2019). Lo anterior coincide con el comportamiento observado entre el FDN% y la relación tallo/hoja de *T. diversifolia* en los tratamientos con fertilización química. Lo cual repercute sobre la calidad del forraje debido a que altos contenidos de FDN limitan el consumo de materia seca de los rumiantes (Villalobos y Sánchez, 2010)

En el caso de la FDA% y la LIG% presentaron un efecto significativo según la edad de rebrote. Los valores más bajos se observaron en plantas de la edad de 30 días, con 21,97% y 14,99% para FDA% y LIG% respectivamente (Figura 6), siendo estos significativamente diferentes a los de las edades de 50 y 70 días. El tipo de fertilización no modificó de manera significativa los contenidos de FDA% y LIG% en el forraje de *T. diversifolia* en el presente estudio (Tabla 4).

Figura 6. Efecto de la edad de rebrote sobre los contenidos de fibra detergente ácido y lignina del forraje de *T. diversifolia*. A) Fibra detergente ácido B) Lignina



Fuente: Elaboración propia

Los valores de FDA% cuantificados en esta investigación son similares a los reportados en otras investigaciones (Arias, 2018; Rivera, *et al.*, 2019; Argüello, *et al.*, 2020; Guatusmal, *et al.*, 2020; Paniagua, *et al.*, 2020), pero inferiores a lo informado en diversos trabajos (Botero, *et al.*, 2019; Navas y Montaña, 2019; Jamarun, *et al.*, 2019; Vega, *et al.*, 2019; Zamora, 2019). En el caso de la LIG% los resultados son superiores a la mayoría de los estudios encontrados, pero son comparables con un vasto cuerpo de información (Arronis y Abarca, 2017; Arias, 2018; Vega, *et al.*, 2019; Paniagua, 2020). Las diferencias encontradas en los parámetros de FDA% y LIG% pueden estar vinculados a las diversas variedades de *T. diversifolia* utilizadas, densidades de siembra y edades de cosecha utilizadas en las investigaciones. No obstante, hay similitudes en los resultados de este estudio y otros que utilizaron la variedad INTA-Quepos Arronis y Abarca (2017), Arias (2018) y Paniagua, *et al.* (2020) se utilizó la misma variedad (INTA-Quepos).

Un hallazgo importante fue que al incrementarse la edad de rebrote aumentaron los contenidos de FDA% y LIG%, esto puede explicarse porque a medida que el forraje madura se va lignificando, comportamiento normal en la mayoría de los forrajes (Elizondo, 2017). Además, con el aumento de la edad de rebrote disminuye la relación hoja/tallo, debido a que las plantas tienen una mayor proporción

de tallos, los cuales presentan mayores contenidos de FDA% y LIG% (Arronis y Abarca, 2017; Navas y Montaña, 2019). La LIG es un polímero fenólico que no puede ser digerido e inhibe la digestión de los componentes de las paredes celulares, siendo más pronunciado su efecto en forrajes maduros, por lo que el contenido de LIG se ha utilizado para estimar la digestibilidad de la fibra (Buelvas, 2009).

La  $\text{dFDN}$  se da en un porcentaje de la FDN y para calcularla se utilizan los contenidos de LIG. La  $\text{dFDN}\%$  no fue estadísticamente influenciada por alguno de los tratamientos (Tabla 3). Los valores de  $\text{dFDN}$  oscilaron entre el 18,65% y 23,54%, similares a los reportados por La O, *et al.* (2012), quienes reportaron valores entre 13% y 16% de la digestibilidad verdadera de la FDN en diferentes ecotipos de *T. diversifolia*. Por otra parte, Valenciaga, *et al.*, (2018) y Zamora (2019), reportaron valores superiores a los encontrados en este estudio para la degradabilidad *in situ* de la FDN. Cabe resaltar que en estos estudios se utilizaron metodologías distintas a las del presente trabajo para calcular la  $\text{dFDN}\%$ , lo cual puede influir en la replicabilidad de los resultados. Los valores de  $\text{dFDN}$  encontrados en el presente estudio al compararlos con otros forrajes tropicales son relativamente bajos (Campos, Rojas y Martines, 2015; Alvares, 2017; López, 2017), en donde los contenidos de  $\text{dFDN}$  superan el 50%.

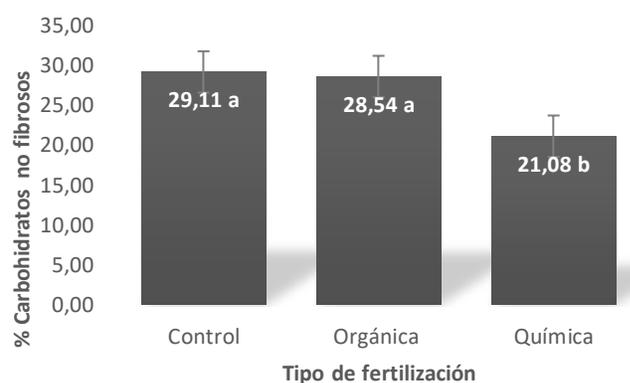
Los valores de  $\text{dFDN}$  obtenidos en el presente estudio están determinados por los contenidos de FDN (bajos en comparación con otros forrajes tropicales) y lignina (muy altos en comparación con otros forrajes), debido a que la ecuación utilizada para estimar la  $\text{dFDN}$  (Detmann, *et al.*, 2008) considera las concentraciones de FDN, lignina y la relación de ambas en el material.

Los contenidos de CEN% presentaron un efecto significativo para las variables de fertilización ( $p=0,0445$ ) y edad de rebrote ( $p=0,0445$ ) (Tabla 3). Los contenidos más bajos de CEN se encontraron en plantas fertilizadas con urea (12,54%), siendo significativamente inferior a lo obtenido en plantas con fertilización orgánica (14,05%) y sin fertilización (14,13%). El valor de CEN% más alto se encontró en la edad de 30 días de rebrote (15,26%), siendo este significativamente superior a los de las edades de 50 (13,17%) y 70 días (12,29%). Los porcentajes de CEN obtenidos son consistentes con lo reportado en

otros trabajos (Cardona, *et al.*, 2017; Vega, *et al.*, 2019; Botero, *et al.*, 2019; Paniagua, *et al.*, 2020), pero superiores en lo indicado por autores como Oluwasola y Dairo (2016), Arronis y Abarca (2017), Arias (2018) y Jamarun, *et al.*, (2019). El comportamiento observado en la presente investigación en donde los porcentajes de CEN disminuyeron con la fertilización nitrogenada química podría estar relacionado con la presencia de una menor relación hoja/tallo encontrado en dichos tratamientos. Relaciones hoja/tallo bajas condicionan la calidad del forraje, ya que la mayor cantidad de nutrientes se encuentran en las hojas (Arronis y Abarca, 2017).

Los CNF% presentaron un efecto significativo para la variable de fertilización ( $p=0,0041$ ) (Tabla 4). Los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos sin fertilización (29,11%) y con fertilización orgánica (28,54%), siendo estos significativamente superiores a los de la fertilización química (21,08%) (Figura 7).

Figura 7. Efecto del tipo de fertilización sobre los contenidos de carbohidratos no fibrosos del forraje de *T. diversifolia*.



Fuente: Elaboración propia

El menor contenido de CNF puede estar relacionado con mayores contenidos de FDN% y FDA% en los tratamientos con fertilización química. La edad de rebrote no influyó de manera significativa los contenidos de CNF% en el forraje. Los valores de CNF de esta investigación son muy superiores a los reportados por Castaño (2012), donde se indican valores de 12% de CNF en el forraje de *T. diversifolia*

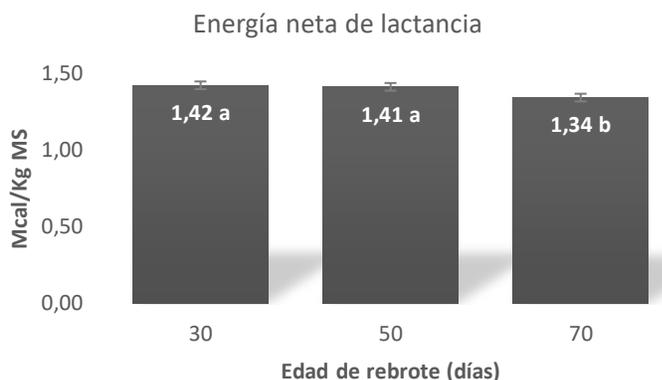
como parte de la mezcla de ensilajes, pero no se especificó la edad de cosecha ni el manejo de la planta. Los resultados encontrados son comparables a los obtenidos en trabajos con otros forrajes arbustivos utilizados para la alimentación de rumiantes en el trópico. En el caso de la morera (*Morus alba*) Rojas, *et al.* (2020), reportaron valores de CNF de 24,90%, para el poró (*Erythrina poeppigiana*) Alvares (2017) reportó valores de 21,90% de CNF y en el caso de la cratylia (*Cratylia argentea*) López y Briceño (2016) encontraron valores desde 7,35% hasta 13,29% de CNF, dependiendo de la edad de cosecha y la época del año.

El TND% del forraje de *T. diversifolia* presentó un efecto significativo de acuerdo con la edad de rebrote ( $p=0,0021$ ) (Tabla 4). Los valores más altos se encontraron en las edades de 30 y 50 días, con 62,67% y 62,34% respectivamente, siendo estos significativamente superiores a los de la edad de 70 días (59,72%). El tipo de fertilización no influyó de manera significativa el TND% en el forraje de *T. diversifolia*. Los valores de TND% de esta investigación son consistentes con lo reportado por Guatusmal, *et al.* (2020), los autores encontraron valores de TND% en el rango de 67,35% hasta 69,88%, en plantas de *T. diversifolia* con edades de cosecha de 60 y 80 días a distintas alturas de corte. Los contenidos de TND% obtenidos son superiores a los de la mayoría de las gramíneas utilizadas en los sistemas de producción de rumiantes en el trópico (Arce, 2016) y similares a los de otras arbustivas como la *M. alba* (60,30%) (Rojas, *et al.*, 2020), lo que hace de *T. diversifolia* un material forrajero de alta calidad con potencial para la suplementación del pasto que consumen los bovinos en el trópico. Un hallazgo importante de mencionar fue que, conforme aumentó la edad de rebrote, disminuyó el contenido de TND%, lo cual es consistente con otros reportes (Guatusmal, *et al.*, 2020). Este comportamiento puede estar relacionado con el proceso de maduración del forraje, ya que a medida que el forraje madura, aumentan los contenidos de fibra, lignina, lo que produce una disminución de la calidad nutricional.

Una forma de expresar la energía contenida en los alimentos es la  $EN_L$ , la cual varió en función de la edad de rebrote. Los valores más altos se encontraron en las edades de 30 y 50 días con 1,42 y

1,41 Mcal/Kg MS respectivamente, siendo estos significativamente superiores a los de la edad de 70 días (1,34 Mcal/Kg MS) (Figura 8). La fertilización no influyó de manera significativa la EN<sub>L</sub>.

Figura 8. Efecto de la edad de rebrote sobre la energía neta de lactancia del forraje de *T. diversifolia*.



Fuente: Elaboración propia

Los valores de EN<sub>L</sub> obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Guatusmal, *et al.* (2020), quienes encontraron valores de 1,49 y 1,58 Mcal/Kg MS con edades de rebrote de 60 y 80 días, respectivamente, utilizando como metodología la espectrofotometría por infrarrojo cercano (NIRS). No obstante, los resultados obtenidos en el presente estudio son superiores a los reportados por Arias (2018), con una EN<sub>L</sub> de 1,18 Mcal/Kg MS, dato obtenido al utilizar la metodología propuesta por Weiss (2004), y las ecuaciones propuestas por el NRC (2001). Es importante mencionar que los valores de EN<sub>L</sub> cuantificados en el presente trabajo son superiores a los que exhiben la gran mayoría de forrajes utilizados en la ganadería en el trópico, los cuales rara vez superan las 1,20 Mcal/Kg MS (Arce, 2016).

### Consideraciones finales

La edad de cosecha y el tipo de fertilizante utilizado influyeron de manera significativa sobre el rendimiento y la composición nutricional de *Tithonia diversifolia*. El rendimiento productivo y la calidad nutricional obtenidas permiten considerar este recurso forrajero como un complemento de calidad para las gramíneas en los sistemas ganaderos del trópico. La aplicación de fertilizante químico permitió un mayor desempeño productivo durante el tiempo de estudio, en comparación con el lombricompost. Se

recomiendan estudios más prolongados y con mayores dosis de aplicación, que permitan ver el efecto del uso del lombricompost en el tiempo sobre el cultivo y sobre el suelo. La edad de cosecha que mejor respondió a la dosis utilizada fue 50 días de rebrote, ya que mostró mejor contenido de nutrimentos y rendimiento productivo.

### Referencias bibliográficas

Alvares, R. (2017). *Emisiones in vitro de metano y parámetros ruminales a partir de mezclas ensiladas de Cratylia (Cratylia argentea), Poró (Erythrina poeppigiana) y Guineo cuadrado (Musa acuminata x balbisiana, Grupo ABB)*. Tesis inédita de licenciatura. Universidad de Costa Rica.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (1998). Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.

Arce, W. (2016). *Análisis de correlación y regresión entre la metodología de producción de gas y la ecuación mecanicista del Consejo Nacional de Investigación, EE. UU., (NRC 2001) determinar el contenido energético in vitro de forrajes*. Tesis inédita de licenciatura. Universidad de Costa Rica.

Arciniegas, S. y Flórez, D. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y Agricultura*, Vol. 15 (2).

Argüello, J., Mahecha, L. y Angulo, J. (2020). Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 21 (3).

Arias, L.M. (2018). *Evaluación del uso de Botón de oro (Tithonia diversifolia) como suplemento de vacas Jersey en etapa productiva*. Tesis inédita de pregrado. Universidad Nacional, Costa Rica.

Arias, L.M., Alpízar, A., Castillo, M., Camacho M.I., Arronis, V. y Padilla, J. (2018). Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. Heredia. Costa Rica. *Pastos y Forrajes*, Vol. 41, No. 4.

Arronis, V. (2015). Banco forrajero de Botón de oro (*Tithonia Diversifolia*). *InfoAgro*, 2.

Arronis, V. y Abarca, S. (2017). Sistemas de producción ganaderos competitivos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica (*Degradación in situ de Tithonia diversifolia*). Informe final. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica.

Astúa, M., Campos, C.M. y Rojas, A. (2021). Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre las características morfológicas y rendimiento agronómico del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos. *Nutrición Animal Tropical* 15(1).

Botero, J., Gómez, A. y Botero, M. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(3):789-800.

Buelvas, M. (2009). *Evaluación de tres tipos de fertilizantes sobre la producción de biomasa y calidad nutricional del pasto maralfalfa (pennisetum sp) cosechado a cuatro estadios de crecimiento diferentes*. Tesis inédita de pregrado. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Campos, C.M., Rojas, A. y Martínez, A. (2015). Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro de 9 forrajes de piso utilizados en lecherías de altura y de bajura en Costa Rica. Proyecto de Investigación No. 739-B5-142. Universidad de Costa Rica.

Cardona, J.L., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*. 28(2).

Castaño, G. y Cardona, J. (2015). Engorde de conejos alimentado con *Tithonia diversifolia*, *Trichanthera gigantea* y *Arachis pintoi*. *Revista U D C A Actualidad & Divulgación Científica* 18(1).

Castillo, R., Betancourt, T., Toral, O. C. y Iglesias, J. M. (2016). Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*. 39 (2):89-93.

Cerdas, R. (2011). Programa de fertilización de forrajes; desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*. 12 (24):109-128.

Cerdas, R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Revista InterSedes* N° 39. Vol 19.

Detmann, E., Valadares-Filho, S.C., Pina, D.S., Henriques, L.T., Paulino, M.F., Magalhães, K.A., Silva, P.A. y Chizzotti, M.L. (2008). Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 143(1-4):127-147.

Dos Santos, A.M., Santos, M.V., da Silva, L.D., dos Santos J.B., Ferreira E.A. y Tuffi, L.D. (2021). Effects of irrigation and nitrogen fertilization rates on yield, agronomic efficiency and morphophysiology in *Tithonia diversifolia*. *Agricultural Water Management*, Volume 248.

Elizondo, J. (2007). Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía mesoamericana*, 18(2).

Elizondo, J. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía mesoamericana*. 28 (2):329-340.

Gallego, L.A., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía mesoamericana*, 28(1).

Gómez, O. y Montes de Oca, P. (1999). Estudio detallado de suelos de la Finca Santa Lucía en Barva, Heredia. [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_031.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf)

Guatusmal, C., Escobar, L.D., Meneses, D. H., Cardona, J. L. y Castro, E. (2020). Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 31 (1):193-208.

Holguin, V.A., Ortiz, S., Velasco, A. y Mora, J. (2015). Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, valle del Cauca. *Rev. Med. Vet. Zoot.* vol.62, n.2.

Huaman, L., Vásquez H. y Oliva, M. (2018). Fertilizantes orgánicos en la producción de pastos nativos en Molinopampa, Amazonas-Perú. *Revista de investigación agroproducción sustentable*, 2(3).

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica). (2017). Datos climáticos. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>

Jamarun, N., Pazla, R., Zain, M. y Arief. (2019). Comparison of *in vitro* digestibility and rumen fluid characteristics between the tithonia (*Tithonia diversifolia*) with elephant grass (*Pennisetum purpureum*). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 287.

Jiménez, J. (2018). *Efecto de la época y los días de rebrote sobre la producción y la calidad nutritiva de pastos en Costa Rica*. Tesis inédita de maestría. Universidad Nacional, Costa Rica.

Kaps, M., y Lamberson, W. R. (2004). *Biostatistics for animal science*. CABI.

Ku-Vera, J. C., Briceño, E. G., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A. J., Aguilar, C. F. Solorio, F.J. y Ramírez, L. (2014). Manipulation of the energy metabolism of ruminants in the tropics: options for improving meat and milk production and quality. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 48, Number 1.

La O, H., González, A., Orozco, Y., Castillo, O., Ruiz, A., Estrada, F., Ríos, E., Gutiérrez, H., Bernal, Valenciaga, D., Castro, B. y Hernández, Y. (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*, Tomo 46, Número 1.

López, M. (2017). *Efecto del ensilado de cuatro leguminosas en mezcla con diferentes fuentes de carbohidratos sobre la fermentación, calidad nutritiva y producción de metano*. Tesis inédita de maestría. Universidad Nacional de Costa Rica.

López, M. y Briceño, E. (2016). Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical* 10(1).

Merlo, F., Ramírez, L., Ayala, A. y Ku, J. C. (2017). Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*.

Navas, A. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Cienc Tecnol Agropecuaria*, Mosquera (Colombia), 20(2).

Navas, A. y Montaña, V. (2019). Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Rev Inv Vet*; 722 30(2).

NRC (National Research Council). (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 408 p.

Oluwasola, T. y Dairo, F. (2016). Proximate composition, amino acid profile and some anti-nutrients of *Tithonia diversifolia* cut at two different times. *African journal of agricultural Research*. Vol. 11(38).

Paniagua, D., Arias, L.M, Castillo, M., Alpizar, A., Camacho, I., Padilla, J. y Campos, M. (2020). Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*. Vol. 43, No. 4.

Rivera, J., Lopera, J., Chará, J., Gómez-Leyva, J., Barahona, R. y Enrique, E. (2019). Genetic and morphological diversity of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray for use in silvopastoral systems of Latin America. Book of Abstract 4th World Congress on Agroforestry. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry. pp 712.

Rodríguez, I. (2017). Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. *LRRD*. 29 (4). <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/cont2904.htm>

Rogério, M., Calsavara, L., Ribeiro, R.S., Pereira, L., Freitas D.S., Paciullo, D., Barahona, R., Rivera, J., Chará, J. y Murgueitio, E. (2017) Feed Ruminants using *Tithonia Diversifolia* as a Forage. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*. Res 5(4).

Rojas, D., Alpizar, A., Castillo, M. y López, M. (2020). Efecto de la inclusión de *Musa* sp. en la conservación de *Morus alba* Linn. *Pastos y forrajes*. Vol. 43, No. 3.

Santiesteban, R., Lambert, T., Arístides, A.J. y González, O. (2021). Respuesta del sorghum bicolor a la fertilización orgánica y mineral en la comuna xangongo, provincia Cunene, Angola. *Revista Granmense de desarrollo local*, vol 5, N°1.

SAS Institute Inc. (2009). SAS/STAT® User's guide: Statistics. Versión 9.0. Cary; NC, USA.

Valenciaga, D., López, J.R., Galindo, J., Ruiz T. y Monteagudo, F. (2018). Cinética de degradación ruminal de materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* recolectados en la región oriental de Cuba. *Livestock Research for Rural Development* 30 (11).

Van-Soest, P.V., Robertson, J.B. y Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.

Vega, A. (2016). *Análisis de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI) y su aplicación en sistemas de producción doble propósito en fincas ganaderas de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica*. Tesis inédita de posgrado. CATIE, Costa Rica.

Vega, E., Sanginés, L., Gómez, A., Hernández, A., Solano, L., Escalera, F. y Loya, J. (2019). Reemplazo de alfalfa con *Tithonia diversifolia* en corderos alimentados con ensilado de caña de azúcar y pulidura de arroz. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*; 10(2).

Villalobos, L., Arce, J. y WingChing, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y Ryegrass Perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 37(2): 91-103.

Villalobos, L. y Sánchez, J. (2010). Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. *Agron. Costarricense* 34(1): 31-42.

Weiss, W.P. (2004). Fine-tuning energy calculations. Proceedings Tri-State Dairy Nutrition Conference. Purdue University, Michigan State University, Ohio State University, United States. 170

Zamora, J. (2019). *Composición química, degradabilidad y cinética ruminal in situ del botón de oro (Tithonia diversifolia) en diferentes periodos de corte*. Tesis inédita de pregrado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

## **CAPÍTULO IV. Efecto del tipo de fertilización y edad de rebrote en el forraje de *Tithonia diversifolia* sobre indicadores de fermentación ruminal**

### **Resumen**

El objetivo fue evaluar el efecto del tipo de fertilizante y la edad de rebrote sobre los indicadores de fermentación ruminal del forraje de *Tithonia diversifolia*. El trabajo se realizó entre los años 2020 y 2021 en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional Costa Rica. Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar: tipo de fertilizante (parcela) y la edad de rebrote (subparcela) con 3 repeticiones por tratamiento. Los tipos de fertilizante fueron: lombricompost (L), químico (Q) y un control (C) sin uso de fertilizante. Las edades de rebrote evaluadas fueron 30, 50 y 70 días para un total de 9 tratamientos. Las variables evaluadas fueron; parámetros de la cinética de degradabilidad *in situ* de la materia seca (*DISMS*), pH, nitrógeno amoniacal, producción de gas y concentración de metano *in vitro*. Se realizó un ANOVA para parcelas divididas. La *DISMS* varió significativamente dependiendo el tipo de fertilización y edad de rebrote, la mayor degradabilidad potencial se encontró en C30 (92,84%) y menor en la Q70 (64,21%). El tipo de fertilizante influyó sobre los contenidos de NH<sub>3</sub> presentando el valor promedio más alto en el tratamiento con fertilización química y menor en el tratamiento control (275,88 y 218,24 mg NH<sub>3</sub>/L fluido ruminal, respectivamente). En el caso de la producción de gas, se determinó que C30 produjo mayor cantidad de gas (79,59 mL/g), en contraste con el tratamiento con Q30 que fue el de menor promedio (28,38 mL/g). La producción de CH<sub>4</sub> no mostró diferencias significativas entre medias, con valores que oscilaron de 3,42-8,67 mLCH<sub>4</sub>/ gMS, obteniéndose los

valores más altos en los tratamientos control. En conclusión, tanto la edad de rebrote, como el tipo de fertilizante o su interacción influyen sobre la degradabilidad ruminal del forraje de *T. diversifolia*.

**Palabras clave:** rumiantes, producción de gas, metano, forrajes, sistema silvopastoril

### Abstract

The objective was to evaluate the effect of the type of fertilizer and the regrowth age on the ruminal fermentation indicators of the *Tithonia diversifolia* forage. The work was carried out between 2020 and 2021 at the Finca Experimental Santa Lucía of the Universidad Nacional Costa Rica. A completely randomized divided plot design used type of fertilizer (plot) and regrowth age (subplot) with 3 replications per treatment. The types of fertilizer were vermicompost (L), chemical (Q) and a control (C) without the use of fertilizer. The regrowth ages evaluated were 30, 50 and 70 days for a total of 9 treatments. The variables evaluated were parameters of the kinetics of in situ degradability of dry matter (ISDDM), pH, ammoniacal nitrogen, gas production and *in vitro* methane concentration. An ANOVA was performed for split plots. The ISDDM varied significantly depending on the type of fertilization and regrowth age, the highest potential degradability was found in C30 (92.84%) and the lowest in Q70 (64.21%). The type of fertilizer influenced the NH<sub>3</sub> content, presenting the highest average value in the treatment with chemical fertilization and the lowest in the control treatment (275.88 and 218.24 mg NH<sub>3</sub>/L ruminal fluid, respectively). In the case of gas production, it was determined that C30 produced a greater amount of gas (79.59 mL/g), in contrast to the treatment with Q30, which had the lowest average (28.38 mL/g). The production of CH<sub>4</sub> did not show significant differences between means, with values that ranged from 3.42-8.67 mLCH<sub>4</sub>/gMS, obtaining the highest values in the control

treatments. In conclusion, both the regrowth age and the type of fertilizer or their interaction influence the ruminal degradability of *T. diversifolia* forage.

**Key words:** Ruminants, gas production, methane, forages, silvopastoral system

### Introducción

El sector ganadero tiene mucha importancia para la economía y la alimentación mundial debido a que contribuye aproximadamente con el 40% del producto interno bruto agrícola (Vega, 2016; Arciniegas y Flórez, 2018); sin embargo, es fuertemente criticado debido al impacto ambiental generado, principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero como el metano (CH<sub>4</sub>) producido por la fermentación entérica de los rumiantes, el dióxido de carbono, producto de prácticas de manejo como las quemadas de pastos y la utilización de hidrocarburos para la producción y por último el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), causado por la fertilización química de forrajes y la mala gestión de los residuos (excretas y orina) (Chacón, *et al.*, 2015). El CH<sub>4</sub> entérico es el GEI que más producen los sistemas ganaderos; específicamente, los rumiantes producen entre 21 y 25% del total de emisiones de CH<sub>4</sub> antropogénico (López, *et al.*, 2021).

La producción de CH<sub>4</sub> por los rumiantes se genera mediante el proceso de metanogénesis, el cual se lleva a cabo por microorganismos ruminales que oxidan el hidrógeno molecular y reducen el CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> (Alayón, *et al.*, 2018). El hidrógeno y CO<sub>2</sub> se producen en el rumen por la síntesis de AGV, en especial acetato y butirato que son producto de la degradación de materiales forrajeros ricos en celulosa consumidos por los rumiantes (López, *et al.*, 2021).

Los forrajes son la principal fuente de nutrientes de los rumiantes en el trópico, sin embargo, la composición nutricional de estos es variable (Rojas, *et al.*, 2020) y presentan altos contenidos de fibra y baja digestibilidad (Ku-Vera, *et al.*, 2014), lo que promueve la metanogénesis con la consiguiente producción de metano. Por esta razón, se deben buscar alternativas alimenticias que aumenten la calidad de la dieta ofrecida a los animales y que estén disponibles durante todo el año (Vega, 2016).

Dentro de las alternativas se encuentra la utilización de bancos forrajeros de especies de alta calidad nutricional, los cuales han demostrado ser una estrategia viable para la suplementación de los rumiantes en el trópico (Cardona, Mahecha y Angulo, 2017).

Una especie forrajera con alto potencial para utilizarse en la alimentación de rumiantes en el trópico es la *T. diversifolia*. Se trata de una planta autóctona de Mesoamérica que posee características agronómicas y bromatológicas que la hacen destacar como un forraje de alta calidad para la alimentación de rumiantes, puede ser utilizada en bancos forrajeros (Arias, *et al.*, 2018; Paniagua, *et al.*, 2020; Astúa, *et al.*, 2021). Dentro de sus atributos resalta su alta degradabilidad de la materia seca, característica que puede mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> (Pérez, *et al.*, 2020). Según Carmona, *et al.* (2005) los alimentos con una alta calidad bromatológica modifican los procesos de digestión y generan una reducción en la producción de CH<sub>4</sub> ruminal, en comparación con los niveles registrados por los pastos tropicales. Además, el uso de leguminosas y plantas como la *T. diversifolia* pueden contribuir a reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> por su alto contenido de nitrógeno y la presencia de metabolitos secundarios que pueden afectar negativamente a los microorganismos metanogénicos del rumen (López, *et al.*, 2021).

La calidad de un forraje está directamente relacionada con el momento de cosecha, el cual estará definido por la existencia de un equilibrio entre el valor nutricional y rendimiento de biomasa (Merlo, *et al.*, 2017). En el caso de la *T. diversifolia* existen estudios que demuestran que la edad de cosecha juega un papel importante en la composición del forraje (Paniagua, *et al.*, 2020). Otro factor que influye sobre la composición de esta planta es la fertilización, ya que se ha evidenciado que la fertilización química nitrogenada de *T. diversifolia* genera un efecto positivo sobre la producción de biomasa y las características bromatológicas (Cerdas, 2018); Botero, *et al.*, 2019); Dos Santos, *et al.*, 2021; Astúa, Campos y Rojas, 2021). Sin embargo, no existen investigaciones que evalúen la respuesta de esta planta a la aplicación de fertilizante orgánico, ni que comparen el efecto de la fertilización química u orgánica a diferentes edades de cosecha. Estas razones fundamentan el evaluar el efecto de

la aplicación del tipo de fertilizante y la edad de rebrote sobre parámetros ruminales del forraje de *T. diversifolia* para la búsqueda de alternativas sustentables y ecológicas de alimentación en rumiantes.

### **Materiales y métodos**

*Ubicación y clima del sitio experimental:* La investigación se llevó a cabo en los años 2020 (junio-septiembre) y 2021 (febrero-abril) en la Finca Experimental Santa Lucía (FESL) perteneciente a la Universidad Nacional Costa Rica, ubicada en Santa Lucía, Barva de Heredia, entre las 10°1'20" latitud norte y 84°06'45" longitud oeste, altitud de 1250 msnm (Gómez y Montes de Oca, 1999), la cual cuenta con una precipitación anual de 2371 mm, una humedad relativa de 78% y temperatura media anual de 21,50°C (IMN, 2021).

*Establecimiento y manejo del cultivo:* Las parcelas utilizadas provienen de una plantación de *T. diversifolia* establecida en un área de 1000 m<sup>2</sup> en el año 2018. Para establecer las parcelas se utilizaron estacas de *T. diversifolia* (Variedad INTA-Quepos) (semilla vegetativa) de 20-30 cm de longitud tomadas del primero y segundo tercio del tallo. Las estacas se colocaron una por sitio de manera vertical, hasta obtener una densidad de siembra de 2 plantas/m<sup>2</sup> (1 m entre surcos y 0,50 m entre plantas). El manejo de la parcela involucró un primer corte a los 5 meses y cortes sucesivos a 55 días, no se aplicaron herbicidas, fertilizantes o riego durante el ensayo.

El terreno de 1000 m<sup>2</sup>, fue dividido en 9 parcelas, de acuerdo con los tipos de fertilizantes, las edades de rebrote y cada tratamiento, se establecieron tres repeticiones por tratamiento. En todas las parcelas se aplicó un corte de homogenización a una altura de 0,50 m del suelo, se tomaron como referencia las recomendaciones realizadas por Arronis (2015). De esta manera, cada unidad experimental contó con un área de 112 m<sup>2</sup> (8 m de ancho y 14 m de largo) con una zona de amortiguamiento de 2 m entre unidad experimental.

*Diseño experimental y tratamientos:* Se utilizó un diseño de parcelas divididas completamente al azar donde se evaluaron: i) tipo de fertilización (parcela) con tres niveles: abono orgánico

(lombricompost= L), fertilizante químico (urea= Q) y un control sin aplicación de fertilización (C) y, ii) y la edad de rebrote (subparcela) con tres niveles: 30, 50 y 70 días. En total se establecieron 9 parcelas (L30, L50, L70, Q30, Q50, Q70, C30, C50 y C70) con 3 repeticiones por tratamiento

Tanto el lombricompost y la urea se aplicaron a una dosis de 150 Kg N/ha/año. La materia seca de los fertilizantes fue de 98,50% para la urea y 40% para el lombricompost, el contenido de nitrógeno fue de 46% en la urea y del 1,43% en el abono orgánico. Para garantizar el aporte de 150 Kg N/ha/año en cada una de las parcelas experimentales se utilizaron 0.016Kg de urea por planta (331,05 Kg/ha) y 1,31 Kg de lombricompost por planta (26220 Kg/ha). En la Tabla 5 se muestra la composición química del lombricompost utilizado en la investigación.

*Tabla 5. Composición química del lombricompost utilizado en el experimento, el cual es fabricado en la Finca Experimental Santa Lucía a base de estiércol bovino.*

<b>Ms</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>B</b>
		<b>%</b>						<b>mg/Kg</b>		
40	1,43	0,58	0,82	1,72	0,56	124	213	968	38130	15

Fuente: Elaboración propia (Análisis realizados en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica)

*Composición química del material evaluado:* Para conocer la composición química de los materiales *T. diversifolia* evaluados se realizaron los análisis de proteína cruda (PC) mediante el método de Kjeldahl (Nx6,25) (AOAC, 1998), fibra detergente ácido (FDA), fibra detergente neutro (FDN) y lignina

según la metodología descrita por Van-Soest, *et al.* (1991) y el porcentaje de carbohidratos no fibrosos (CNF) mediante las ecuaciones reportadas por Detmann, *et al.* (2008) (Tabla 6).

*Tabla 6. Composición bromatológica de la T. diversifolia según tipo de fertilización y edad de rebrote*

<b>Tratamiento</b>	<b>PC</b>	<b>FDN</b>	<b>FDA</b>	<b>LIG</b>	<b>CNF</b>
C30	19,53	29,04	21,80	14,86	30,00
C50	12,88	37,69	30,68	21,12	29,81
C70	10,12	44,28	36,45	21,81	27,52
L30	22,26	29,95	21,67	14,65	26,84
L50	13,24	36,52	29,10	18,60	31,26
L70	12,11	41,96	34,92	24,36	27,51
Q30	27,61	31,71	22,45	15,46	19,36
Q50	19,13	39,62	31,47	19,14	23,08
Q70	11,57	52,64	41,52	22,80	20,81

Fuente: Elaboración propia. PC: proteína cruda, FDA: fibra detergente ácido, FDN: fibra detergente neutro, LIG: lignina, CNF: carbohidratos no fibrosos.

*Muestreo:* Se colectaron muestras de 1 Kg de planta entera de cada una de las subparcelas, las cuales fueron troceadas en partículas de 2,50 cm utilizando una picadora para forrajes de motor eléctrico de 7,50 HP, modelo ES 650 marca Trapp. Las muestras fueron empacadas en bolsas transparentes de manera individual, debidamente identificadas y se trasladaron al Laboratorio de Análisis de Productos Animales y Vegetales de la UNA (LAPAV) donde se secaron y molieron.

#### *Variables a evaluar*

*Parámetros de la cinética de degradabilidad ruminal in situ:* Por cada uno de los tratamientos evaluados se colocó por duplicado en bolsas de poliéster R1020 con porosidad de 40 µm (ANKOM Technology, Macedon, NY, USA) de 10 × 20 cm, 5 g de muestra molida y pasada a través de una criba

5mm. Estas se incubaron en el rumen de una vaca canulada por 72, 48, 24, 12, 8, 6, 4, 2 y 0 horas. En el caso de la hora cero se realizó un lavado a 37 °C durante al menos 20 minutos, esto para determinar la fracción soluble (FS) de las moléculas de baja densidad. En cada momento de incubación se midió el pH y la temperatura ruminal con la finalidad de verificar que las condiciones ruminales del animal se encontraban dentro de los parámetros normales.

Para determinar los parámetros de la cinética de degradabilidad ruminal de la MS se utilizó el modelo planteado por Orskov y Mcdonall (1979) el cual mide el tiempo de incubación como variable independiente (X) y las variables potencialmente digestibles como variable dependiente (Y). Además, a partir de estos parámetros se determinó la degradabilidad efectiva considerando diferentes tasas de pasaje (2, 5 y 8 %/hora).

$$Y = a + b(1 - e^{-c \cdot t})$$

Donde:

Y= degradación potencial.

t = tiempo de incubación.

a = intercepto con el eje "Y" en el tiempo cero. Representa el sustrato soluble completamente degradable que sale rápidamente de la bolsa de nylon.

b = Representa la fracción que se degradó a las 72-48-24-12-8-6-4-2-0.

c = tasa de degradación.

e= logaritmo natural

La degradabilidad efectiva (DE; g Kg<sup>-1</sup>) se calculó a partir de los parámetros antes mencionados suponiendo tasas de pasaje fraccionadas (kp) de 2, 5 y 8% h<sup>-1</sup> según la siguiente ecuación:

$$DE = a + b \left( \frac{k}{k + kp} \right)$$

*Parámetros ruminales in vitro:* Se colectaron muestras de 1 Kg de planta entera de cada una de las subparcelas, las cuales fueron troceadas en partículas de tamaño promedio 2,50 cm, para lo cual se

utilizó una picadora para forrajes de motor eléctrico de 7,50HP, modelo ES 650 marca Trapp. Las muestras fueron empacadas en bolsas transparentes de manera individual, debidamente identificadas y se trasladaron al LAPAV en donde se secaron y se molieron.

La producción de gas se determinó con un equipo ANKOM Gas Production System según la metodología descrita por Meale, Chaves y McAllister (2012). Se pesó 1 g de la muestra seca y molida combinado con licor ruminal de animales fistulados con una dieta conocida (pastos *Cynodon nlemfuensis* y *Pennisetum purpureum*), en conjunto con soluciones amortiguadoras y minerales. Las muestras fueron incubadas durante 48 horas a  $39 \pm 0,5$  °C, en recipientes de vidrio con capacidad de 250 mL, con el objetivo de cuantificar la producción de gas acumulada. Los valores obtenidos fueron corregidos con un blanco que contenía solamente licor ruminal, la producción de gas fue medida con sensores ubicados en la parte superior de los frascos de vidrio y guardados en el programa informático del incubador ANKOM Gas Production System en el LAPAV.

A las 48 horas de incubación se procedió a la colecta del gas, la muestra se tomó directamente en el septo del recipiente utilizando un tubo de vacutainer con capacidad de 20 mL. Para la cuantificación de la concentración de metano se utilizó un cromatógrafo de gases con detector de ionización de llama (GC-FIT) marca Perkin Elmer Autosystem XL y una columna capilar OV<sup>-1</sup>, de 60 cm de longitud y 0,32 mm de diámetro interno. La lectura de CH<sub>4</sub> se realizó por medio de cromatogramas, se tomó en cuenta el tiempo de retención de un patrón de CH<sub>4</sub>, en el Laboratorio de Química de la Atmósfera (LAQAT-UNA).

Una vez finalizadas las 48 de incubación y posterior a la toma de la muestra para cuantificación de metano, se tomó una muestra de 3 mL del medio de cultivo, la cual fue trasvasada a tubos de ensayo para la determinación del contenido de nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>). Para lo cual al contenido del tubo de ensayo se agregaron 5 gotas de ácido sulfúrico concentrado para detener la actividad microbiana, después se procedió a centrifugar a 3000 revoluciones por minuto durante 15 minutos para lograr la

precipitación del material sin digerir, una vez separado el material sin digerir se agregaron 150  $\mu$ L de ácido tricloroacético. El contenido de  $\text{NH}_3$  se cuantificó por medio de la técnica de Kjendahl (AOAC, 1998). También, se determinó el pH al medio de cultivo una vez finalizado el proceso de incubación de 48 horas, para esto se utilizó un potenciómetro con electrodo de hidrógeno.

*Análisis estadístico:* Se realizó un análisis de varianza para parcelas divididas según lo descrito por Kaps y Lamberson (2004). La comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza según prueba de Levene. Las medias se contrastaron mediante la prueba de Tukey. En todo momento se declaró significancia cuando  $p < 0,05$ , sin embargo, cuando  $p$  mayor que 0,05 pero menor que 0,01, se declaró tendencia del efecto en el tratamiento. Los datos se analizaron con el software estadístico SAS® versión 9.0 (SAS Institute Inc, 2009). Además, se realizaron análisis de correlación mediante coeficientes de Pearson entre los indicadores de fermentación ruminal y las variables de composición bromatológica, para establecer la relación entre variables.

## **Resultados y discusión**

### *Parámetros ruminales in situ*

*Cinética de degradabilidad ruminal in situ de la MS:* Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, provocadas por la interacción fertilización\*edad de rebrote (parámetro b, degradabilidad potencial a las 72 horas y degradabilidad efectiva del 2 y 5% por hora) (Tabla 7). El resto de las variables analizadas no mostraron una interacción estadísticamente significativa, sino influenciadas significativamente por la fertilización y/o edad de rebrote. Finalmente, el parámetro c, no mostró diferencias entre tratamientos por ninguno de los efectos analizados (Tabla 7).

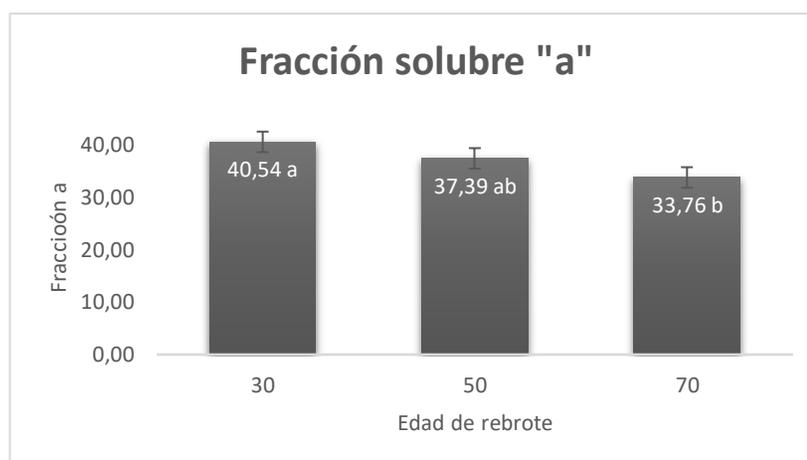
Tabla 7. Parámetros de la cinética de degradabilidad ruminal, potencial y efectiva de la materia seca a diferentes tasas de pasaje del forraje de *Tithonia diversifolia* fertilizada con urea (Q) o lombricompost (L), sin fertilización (C) cosechados 30, 50 o 70 días de rebrote

Tratamiento	a	b	c	(%)			
				DP 72 horas	DE 2%/h	DE 5%/h	DE 8%/h
C30	40,71	53,57 <sup>a</sup>	0,05	92,84 <sup>a</sup>	79,44 <sup>a</sup>	68,18 <sup>a</sup>	62,02
C50	37,47	48,07 <sup>ab</sup>	0,04	83,21 <sup>ab</sup>	70,11 <sup>b</sup>	59,52 <sup>b</sup>	54,13
C70	34,90	45,10 <sup>b</sup>	0,04	77,06 <sup>b</sup>	64,47 <sup>c</sup>	54,41 <sup>bc</sup>	49,46
L30	39,17	51,14 <sup>ab</sup>	0,05	88,72 <sup>a</sup>	75,43 <sup>ab</sup>	64,45 <sup>ab</sup>	58,58
L50	37,78	47,93 <sup>ab</sup>	0,05	83,62 <sup>ab</sup>	70,98 <sup>b</sup>	60,61 <sup>b</sup>	55,21
L70	34,77	45,63 <sup>b</sup>	0,05	78,64 <sup>b</sup>	66,43 <sup>b</sup>	56,48 <sup>bc</sup>	51,29
Q30	41,74	51,44 <sup>ab</sup>	0,05	92,08 <sup>a</sup>	79,55 <sup>a</sup>	68,88 <sup>a</sup>	62,93
Q50	36,92	44,37 <sup>b</sup>	0,04	79,48 <sup>b</sup>	67,53 <sup>b</sup>	57,82 <sup>b</sup>	52,79
Q70	31,63	33,07 <sup>c</sup>	0,06	64,21 <sup>c</sup>	56,62 <sup>c</sup>	49,99 <sup>c</sup>	46,16
Error estándar	0.817	1,186	0,002	1,739	1,448	1,234	1,120
p-valor Fertilización	0.869	0,021	0,317	0,055	0,130	0,419	0,646
p-valor Edad de rebrote	0.005	<,0001	0,279	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Fertilización*Edad de rebrote	0.696	0,002	0,159	0,008	0,013	0,029	0,057

Fuente: elaboración propia. Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes  $P < 0,05$  (Tukey). a: fracción soluble; b: fracción potencialmente degradable; c: tasa de degradación de b; DP: Degradabilidad Potencial (a+b) a 72 horas; DE: Degradabilidad Efectiva a tasas de pasaje ruminal (2; 5 y 8%/h).

Las medias de la fracción soluble "a" presentaron diferencias significativas ( $p=0.0054$ ) debido a la edad de rebrote (Tabla 7). Los valores más altos se obtuvieron a la edad de 30 días (40,54%), sin ser estadísticamente diferente que el rebrote a 50 días (37,39%). La edad de rebrote de 70 días mostró menor contenido de esta fracción (33,76%), siendo solo estadísticamente diferente de la edad 30 días (Figura 9).

Figura 9. Efecto de la edad de rebrote sobre la fracción soluble "a" de la materia seca del forraje de *T. diversifolia*.



Fuente: Elaboración propia

Las medias obtenidas para la fracción "a" en las edades de 30 y 50 días fueron superiores a las reportadas por Arronis y Abarca (2017), quienes obtuvieron valores para la fracción a de 30,40, 25,50 y 29% con edades de rebrote de 40, 50 y 60 días, respectivamente, para planta entera de *T. diversifolia* ecotipo INTA-Quepos, sin fertilización. También fueron superiores a las reportadas por Valenciaga, *et al.* (2018) al evaluar la cinética de degradación ruminal de distintos materiales vegetales de *T. diversifolia* a los 60 días de edad de rebrote. Los resultados obtenidos en los estudios antes mencionados fueron similares a los encontrados en esta investigación a los 70 días.

La disminución de la fracción "a" ocurrida de las edades de 30-50 días con respecto a la de 70 días de rebrote, fue similar al detectado por Arronis y Abarca (2017), quienes observaron que la fracción soluble disminuye al aumentar la edad de rebrote.

La fracción “b” potencialmente degradable, presentó diferencias significativas entre los tratamientos ( $P=0,0016$ ) debidas a la interacción entre el tipo de fertilización y la edad de rebrote. La media más alta se encontró en C30 (53,57). El tratamiento con el valor de fracción degradable más bajo fue el Q70 (33,07), siendo menor y diferente a los demás tratamientos evaluados (Tabla 7).

Se observó una disminución en la fracción “b”, conforme aumenta la edad de rebrote, influenciada por el tipo de fertilizante utilizado. En los tratamientos control al pasar de 30 a 70 días la fracción “b” baja un 15,80%, en los tratamientos con fertilización química (Q30, Q50 y Q70) la fracción “b” disminuyó en un 35,70%, en los tratamientos donde se utilizó fertilización orgánica no se encontraron diferencias significativas al aumentar la edad de rebrote, por lo que se observó que en los tratamientos con fertilización orgánica estadísticamente se mantiene la fracción “b” a pesar de la edad de rebrote.

Se logró evidenciar una disminución de la fracción potencialmente degradable al aumentar la edad de rebrote, siendo más marcada en los tratamientos donde se utilizó fertilización química, lo cual podrían estar influenciado por la relación hoja/tallo, donde se presentan menores relaciones hoja/tallo en los tratamientos con edades de cosecha más avanzadas, obteniéndose las relaciones hoja tallo más bajas en los tratamientos donde se utilizó fertilización química. Este comportamiento es similar al obtenido en la investigación de Botero, *et al.* (2019) donde al aplicar niveles superiores a los 200 Kg/N/ha las plantas se desarrollan más aceleradamente y presenta una mayor producción de tallos lo cual tiene una repercusión sobre la composición química de la planta aumentando los contenidos de pared celular, disminuyendo el porcentaje de PC y CNF (Tabla 6), teniendo un efecto directo sobre la degradabilidad de la MS del forraje de las plantas de *T. diversifolia*.

La tasa de degradación (fracción c) no presentó diferencias significativas ( $P<0,05$ ) por el tipo de fertilización, por la edad de rebrote, ni por la interacción entre ambos factores. Los resultados son similares a los obtenidos por Valenciaga, *et al.* (2018), donde evaluaron distintos materiales vegetales de

*T. diversifolia* en Cuba, los valores de la tasa de pasaje “c” en dicha investigación variaron desde entre 0,05 a 0,08.

La tasa de degradabilidad obtenida puede estar relacionada a los bajos contenidos de pared celular encontrados en los tratamientos evaluados (Tabla 6), lo cual tendría un efecto sobre una menor retención de la MS en el rumen, por lo tanto, se incrementa el consumo de materia seca (Razz, Clavero y Vergara, 2004).

La degradabilidad potencial de la MS a las 72 horas también presentó diferencias significativas ( $p=0,0081$ ) por la interacción entre el tipo de fertilización y la edad de rebrote. Siendo las medias más altas las obtenidas en C30 y Q30 (92,84 y 92,08%, respectivamente). Los valores más bajos se observaron en Q70 (64,21%), siendo este estadísticamente diferente a las medias obtenidas en los demás tratamientos.

En el caso de los tratamientos control (C30, C50 y C70) y con fertilización orgánica (L30, L50 y L70) se pudo observar una disminución de la degradabilidad potencial de la MS al aumentar la edad de rebrote, pero esta fue menos marcada que en los tratamientos con fertilización química (Q30, Q50 y Q70), un efecto similar se observó en los resultados obtenidos en la fracción potencialmente degradable “b”. En los tratamientos control y con fertilización orgánica no se obtuvieron diferencias significativas entre las edades de rebrote de 30 y 50 días, observándose únicamente diferencias estadísticas entre las edades de 30 y 70 días.

En los tratamientos con fertilización química las diferencias entre las edades de 30 y 50 días de rebrote si fueron estadísticamente significativas, al igual que entre las edades de 50 y 70 días, el comportamiento observado para la degradabilidad potencial puede deberse a menores relaciones hoja/tallo en los tratamientos con edades de cosecha más avanzadas, siendo más marcado este efecto en los tratamientos donde se utilizó fertilización química. Lo cual genera un efecto directo en la

composición bromatológica del forraje (Tabla 6) y sobre la degradabilidad potencial de la MS de los tratamientos evaluados.

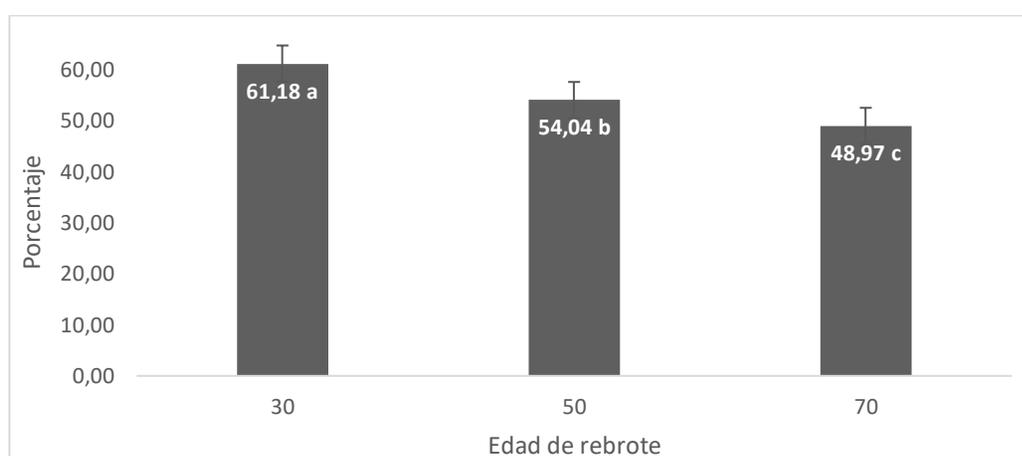
Los resultados son consistentes con los reportados por Meza, *et al.* (2021), Valenciaga, *et al.* (2018), La O, *et al.* (2012). En el trabajo de Meza, *et al.* (2021) se presentó un efecto similar donde se generó una disminución de la degradabilidad potencial en el forraje de *T. diversifolia* al aumentar la edad de rebrote, se evidencia que la relación hoja: tallo de este forraje está relacionada con la edad de rebrote, ya que los tratamientos cosechados a edades tempranas tienden a tener mayores porcentajes de PC y bajos contenidos de FDN y FDA (Tabla 6). El menor contenido de carbohidratos propicia mayor acceso a los microorganismos ruminales y facilita su degradación.

Según Valenciaga, *et al.* (2018) la elevada degradabilidad ruminal de la *T. diversifolia* puede estar relacionada con su composición química (altos porcentajes de PC y los bajos valores de carbohidratos estructurales) lo que podría propiciar una mayor disponibilidad de compuestos como amoníaco, aminoácidos, péptidos y ácidos grasos de cadena corta ramificados, garantizando una sincronización de nitrógeno y energía para los microorganismos del rumen, específicamente los celulolíticos.

La degradabilidad efectiva con una tasa de pasaje ruminal del 2%/h y 5%/h presentaron un efecto significativo ( $P < 0,05$ ) de la interacción entre el tipo de fertilización y la edad de rebrote donde en los tratamientos con control y con fertilización química los valores disminuyeron significativamente conforme aumento la edad de rebrote, siendo distinto el efecto en los tratamientos con fertilización orgánica en donde los valores no disminuyeron de manera significativa al aumentar la edad de rebrote del forraje. Las medias más altas obtenidas se encontraron en los tratamientos Q30 y C30. Los valores más bajos se observaron en Q70, siendo este estadísticamente diferente a las medias obtenidas en los demás tratamientos. Los valores obtenidos en la presente investigación son similares a los reportados por La O, *et al.* (2012) quienes evaluaron la DIVMS de diferentes ecotipos de *T. diversifolia* y están en el rango de valores para plantas tropicales.

La edad de rebrote presentó un efecto significativo ( $P < 0,0001$ ) sobre degradabilidad efectiva a una tasa de pasaje ruminal del 8%/h (Tabla 7). Los valores más altos se obtuvieron a la edad de rebrote de 30 días (61,18%), siendo este diferente estadísticamente del tratamiento con edad de rebrote de 50 días (50,04%). La media más baja se presentó en los tratamientos con edad de 70 días (48,97%), siendo este inferior estadísticamente a los obtenidos en las demás edades de rebrote evaluadas (Figura 10).

Figura 10. Efecto de la edad de rebrote sobre degradabilidad efectiva de la materia seca del forraje de *T. diversifolia* a una tasa de pasaje de 8%/h.



Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos y el comportamiento observado pueden estar relacionados con la composición bromatológica de la planta (altos contenidos de PC, bajos contenidos de FDN y FDA y de CNF) así como del tipo y cantidad de compuestos fenólicos que pueden favorecer la degradabilidad ruminal de los nutrientes.

Los resultados de la cinética de degradabilidad ruminal *in situ* son comparables a los obtenidos por otros autores (Valenciaga, *et al.*, 2018; Ruiz, *et al.*, 2016; La O, *et al.*, 2012) y concuerdan con el observado en estudios con otras plantas forrajeras no leguminosas que constituyen excelentes fuentes suplementarias para rumiantes en condiciones tropicales (Valenciaga, *et al.*, 2018).

Los tratamientos evaluados presentaron una diferencia en la tasa de la degradabilidad partir de la hora 12, creándose 3 grupos, el primer grupo con una mayor tasa de degradación de la materia seca

con los tratamientos con edad de rebrote de 30 días y los tratamientos C50 y L50, los cuales alcanzaron degradabilidades potenciales iguales o superiores al 80% a partir de la hora 48, llegando a ser superiores al 90% en C30 y Q30.

Un segundo grupo en donde encontramos los tratamientos Q50, C70 y O70 los cuales alcanzaron una degradabilidad potencial superior al 70%. Y por último Q70 el cual desde la hora 24 presentó una menor degradabilidad potencial que los demás tratamientos (DP a las 72 horas del 64%), según Arronis y Abarca (2017) estas diferencias se explican por la composición bromatológica de la planta, la cual puede estar influenciada por la relación hoja/tallo, presentando menores relaciones hoja/tallo en los tratamientos con edades de rebrote avanzadas. Por otro lado, la fertilización nitrogenada puede influir sobre este mismo parámetro debido al rápido efecto de la fertilización química sobre el crecimiento de las plantas, presentándose una mayor producción de tallos debido a que la planta se desarrolla más aceleradamente y presenta una mayor producción de tallos en relación con las hojas.

La elevada degradabilidad ruminal de los materiales vegetales evaluados pudiera estar relacionada con su composición química. En la Tabla 6 se observa altos contenidos de PC y bajos valores de carbohidratos estructurales (FDN, FDA). La degradabilidad efectiva encontrada en todos los tratamientos evaluados contrasta con lo que sucede con la gran mayoría de las gramíneas tropicales que no alcanzan valores de degradabilidad efectiva de la MS superiores al 40% (Ascencio, *et al.*, 2018). Esto demuestra la calidad de esta especie para su utilización en la alimentación animal (La O, *et al.*, 2012).

#### *Parámetros ruminales in vitro*

Los valores del pH a las 48 horas presentaron diferencias significativas ( $p=0,0260$ ) provocadas por efecto de la edad de rebrote (Tabla 8). Los mayores promedios se obtuvieron en los forrajes a 30 días de rebrote, siendo estos estadísticamente diferentes a los de la edad de 70 días (Tabla 8). Por otra

parte, el tipo de fertilizante utilizado no modificó de manera significativa los valores del pH en el licor ruminal.

Los valores de pH obtenidos en la presente investigación son ligeramente superiores a los encontrados en la investigación de Avila, *et al.* (2020), quienes reportaron valores entre 6,21 y 6,40 al determinar el pH del licor ruminal *in vitro* en distintas mezclas de forrajes tropicales. Por otra parte, fueron similares a los obtenidos por Prieto, *et al.*, (2016) que determinaron valores de entre 6,82 y 6,91, para los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* en forrajes de silvopasturas intensivas con *Leucaena leucocephala*. También, son similares a los obtenidos por Jamarun, Pazla, Zain y Arief (2019) y Galindo, *et al.* (2018) donde se determinaron valores de pH del licor ruminal utilizando el forraje de *T. diversifolia*, los cuales fueron de 6,78 en ambas investigaciones.

Las diferencias encontradas con otras investigaciones pueden ser debidas a mayores concentraciones de nitrógeno amoniacal o a una mayor fermentación de fibra del forraje. De acuerdo con Galindo, *et al.* (2018), los valores de pH más elevados a la edad de rebrote de 30 días se pueden atribuir a mayores concentraciones de amoníaco ruminal, debido a los elevados porcentajes en PC del forraje de *T. diversifolia* a la edad de 30 días (Tabla 6). Por otra parte, Cobos, *et al.* (2018) señalan que valores de pH entre 6,40-7 son apropiados para la proliferación de las bacterias celulolíticas las cuales degradan la pared celular de los forrajes. Si el pH del licor ruminal se encuentra por debajo de 6 inhibirá la actividad microbiana, pH superiores a 7,10 podrían reducir drásticamente la población microbiana (Jamarun, *et al.*, 2019).

Tabla 8. Medias de los tratamientos para las variables de pH, nitrógeno amoniacal, producción de gas y metano entérico in vitro según tipo de fertilización y edad de rebrote del forraje de *T. diversifolia*.

Parámetro	Fertilización			p-valor	Edad rebrote (días)			p-valor	p-valor Fertilización*Edad	±EE
	Control	Orgánica	Química		30	50	70			
pH	6,75	6,74	6,73	0,895	6,81 <sup>a</sup>	6,75 <sup>ab</sup>	6,66 <sup>b</sup>	0,026	0,3473	0,021
NH <sub>3</sub> (mg NH <sub>3</sub> /L fluido ruminal)	218,24 <sup>b</sup>	234,71 <sup>ab</sup>	275,88 <sup>a</sup>	0,024	300 <sup>a</sup>	218,29 <sup>b</sup>	210,00 <sup>b</sup>	0,001	0,0860	11,420
Producción de Gas (mL/g)	63,25	45,50	43,54	0,017	46,37	39,06	68,86	0,002	0,0452	3,583
CH <sub>4</sub> (mL/g MS)	8,47	8,23	3,42	0,381	8,67	5,97	4,55	0,556	0,9594	1,233

Fuente: Elaboración propia. Letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes  $P < 0,05$  (Tukey). NH<sub>3</sub>= Nitrógeno amoniacal. CH<sub>4</sub> (mL/g MS): mililitros por gramo de materia seca de metano entérico; ±EE: error estándar de las medias.

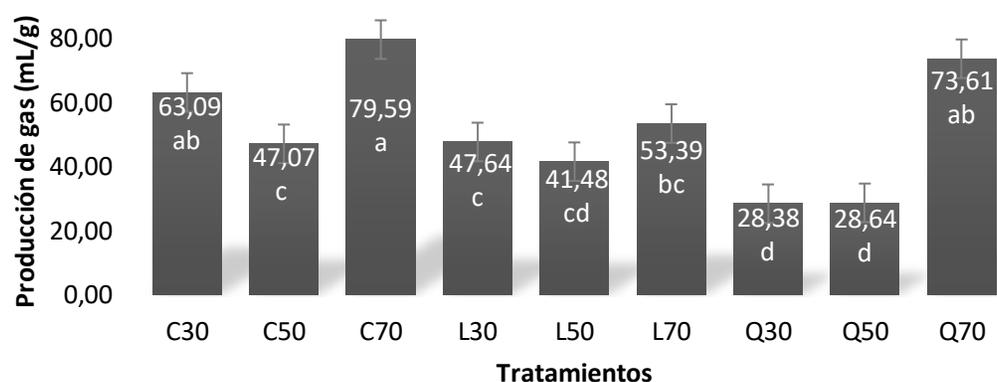
Los contenidos de  $\text{NH}_3$  mostraron diferencias significativas para los efectos de tipo de fertilización ( $p=0,0238$ ) y la edad de rebrote ( $p=0,0001$ ). Para el tipo de fertilización los contenidos más altos se encontraron en el forraje que se fertilizó con lombricompost y urea, sin ser diferentes entre ellos, mientras que el tratamiento con fertilización química fue significativamente mayor al promedio obtenido en el tratamiento control. En cuanto a la edad de rebrote, el promedio más alto de  $\text{NH}_3$  se encontró en las plantas con 30 días, siendo este significativamente diferente a los valores obtenidos en las otras dos edades de rebrote, por otra parte, no se encontraron diferencias entre las edades 50 y 70 días. Las mayores concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el licor ruminal en los tratamientos con edad de cosecha de 30 días y con fertilización química, pueden estar relacionados al contenido de PC encontrados (Tabla 2), ya que las concentraciones de  $\text{NH}_3$  en el licor ruminal aumentan cuando los animales consumen alimentos altos en proteína como leguminosas, forrajes tiernos y fertilizados con altas dosis de nitrógeno (Di Marco y Aello, 2005). Según Jamarun, *et al.* (2019) los altos contenidos de PC en el forraje de *T. diversifolia* se correlacionarán positivamente con las concentraciones de  $\text{NH}_3$ .

Los valores de  $\text{NH}_3$  determinados en los tratamientos van desde 210 hasta los 300 mg  $\text{NH}_3/\text{L}$  fluido ruminal. En el estudio de Álvarez (2017) se menciona que en Costa Rica los valores óptimos de  $\text{NH}_3$  en el rumen oscilan entre 150 y 200 mg/L de  $\text{NH}_3$ , debido a los altos contenidos de FDN y bajos porcentajes de PC presentes en las pasturas tropicales. Y que concentraciones superiores de 250 mg/L de  $\text{NH}_3$  podrían predisponer a intoxicación en los animales. Asimismo, contenidos elevados de PC hacen que se produzca una asincronía entre la disponibilidad de energía y amonio (David, 2017), faltando energía rápidamente disponible para que los microorganismos crezcan y capten la explosiva liberación del amonio que proviene de la degradación de la proteína del forraje. La captación del nitrógeno por los microorganismos es menor que el amonio liberado, por lo cual la concentración de  $\text{NH}_3$  aumenta en el licor ruminal (Di Marco y Aello, 2005).

Los valores de  $\text{NH}_3$  de los tratamientos control, con fertilización orgánica y a edades de rebrote 50 y rebrote 70 días son similares a los obtenidos por Jamarun, *et al.* (2019) al evaluar el forraje de *T. diversifolia*. Los valores obtenidos con fertilización química y la edad de rebrote de 30 días son superiores a los reportados por Jamarun, *et al.* (2019). Además, los valores de  $\text{NH}_3$  del presente estudio son superiores a los reportados por Álvarez, Rojas y López (2020) al evaluar el efecto del guineo cuadrado (*Musa ABB*) en ensilajes con leguminosas, debido a que el guineo cuadrado se sincroniza con el amonio de las leguminosas, bajando el  $\text{NH}_3$  en el licor ruminal, por lo que es recomendado que exista una fuente de energía complementaria a la arbustiva en este caso *T. diversifolia* para asegurar un adecuado aprovechamiento del nitrógeno en rumen.

*Producción de gas:* Para esta variable se detectó un efecto significativo ( $p=0,0452$ ) de la interacción entre el tipo de fertilización y las edades de rebrote. La producción de gas más alta se encontró en C3 (79,59 mL/g de MS), mientras que la menor producción se obtuvo del Q30 (28,38 mL/g de MS) (Figura 11). Se pudo determinar que al utilizar una fertilización nitrogenada química se presentó un aumento en la producción de gas al aumentar la edad de rebrote siendo significativo entre las edades de 50 y 70 días. En el caso de los tratamientos control y con fertilización orgánica el comportamiento de la producción de gas no presentó un crecimiento significativo al aumentar la edad de rebrote.

Figura 11 Producción de gas *in vitro* del follaje de *T. diversifolia* según tipo de fertilización y edad de rebrote.



Fuente: Elaboración propia

Se detectó que la edad de rebrote posee mayor impacto en la interacción con respecto al tipo de fertilizante utilizado. Diversas investigaciones han demostrado que el forraje de *T. diversifolia* contiene niveles moderados de metabolitos secundarios como los fenoles y taninos totales (1,10 y 0,60% MS), respectivamente (Verdecia, *et al.*, 2018; Rodríguez, *et al.*, 2019). En el estudio de Olfaz, *et al.* (2018) se demostró que factores antinutricionales como los taninos redujeron la producción de gas *in vitro*, dicho efecto podría explicar producciones de gas similares a las encontradas en estudios como el de Olfaz, *et al.* (2018).

En cuanto a la edad de rebrote, Díaz, Mahecha y Angulo, (2017) indican que bajos contenidos de fibra generan menores producciones de gas. La variación en la producción de gas en los tratamientos con fertilización química se explica por el crecimiento de las plantas con este tipo de fertilización, donde a la edad de rebrote de 70 días se presentó un desarrollo superior (mayor elongación de los tallos), donde la relación hoja/tallo fue muy baja comparada con los demás tratamientos evaluados, este comportamiento modificó de manera significativa los parámetros de la pared celular del forraje (Tabla 6) e impactó la producción de gas (Tabla 8).

*Producción de Metano:* Las medias de producción de CH<sub>4</sub> no presentaron diferencias significativas ( $P>0,05$ ) en ninguna de las variables evaluadas (fertilización, edad y la interacción entre ambas). Por lo que ni el tipo de fertilizante ni la edad de cosecha modificaron la producción de CH<sub>4</sub> entérico *in vitro* del forraje *T. diversifolia* en el presente estudio.

Los valores obtenidos en el presente estudio son inferiores a los reportados por Cardona, *et al.* (2021) y Pérez (2019) al evaluar el forraje de *T. diversifolia*, las diferencias pueden deberse a la variedad evaluada, las condiciones agroclimáticas y las edades de rebrote en las que se cosechó el forraje, en el caso del trabajo de Cardona, *et al.* (2021) el forraje de *T. diversifolia* contaba con una edad de rebrote de 70 días, en el estudio de Pérez (2019) no se especifica la edad de rebrote de los forrajes utilizados en

el estudio. Los resultados son similares a los obtenidos en el trabajo de Álvarez, *et al.* (2020) con leguminosas arbustivas en Costa Rica.

Los contenidos de CH<sub>4</sub> presentes en todos los tratamientos evaluados pueden estar relacionados con la presencia de taninos en la planta de *T. diversifolia* (Díaz, *et al.*, 2017), debido a que existe una relación inversa entre el contenido de metabolitos secundarios como los taninos en los forrajes con la producción de CH<sub>4</sub> (Meale, *et al.* 2012), donde los metabolitos secundarios de estas plantas ejercen efectos defaunantes, al reducir la población de protozoos del rumen.

Por otra parte, los contenidos de lignina presentes en el forraje de los tratamientos evaluados (Tabla 6) pudieron tener un efecto sobre la emisión de CH<sub>4</sub> entérico, debido a que alimentos ricos en fibras lignificadas producen menores volúmenes de CH<sub>4</sub>, debido al acceso limitado de los microorganismos del rumen al sustrato (Apráez, Delgado y Solarte, 2016). Además, López, *et al.* (2021) indican que al disminuir la dFDN (aumento de lignina) por mayor edad de rebrote se reduce la cantidad de CH<sub>4</sub>, debido a una menor cantidad de materia orgánica (principalmente fibra) fermentándose en el rumen. Esto es de importancia ya que la digestibilidad de la fibra tiene mayor impacto en la producción comparada con la digestibilidad de cualquier otro nutrimento (Combs, 2014).

### **Consideraciones finales**

La edad de cosecha y el tipo de fertilización influyeron de manera significativa sobre los indicadores de fermentación en el rumen tanto *in situ*, como *in vitro* del forraje de *T. diversifolia*. Se logró evidenciar como la fertilización química modificó significativamente los parámetros ruminales *in situ* como *in vitro*, donde a mayor edad de rebrote en los tratamientos con fertilización química los parámetros de *DISMS* fueron estadísticamente inferiores a los demás tratamientos evaluados.

Los resultados obtenidos permiten considerar este recurso forrajero como un complemento de las gramíneas de pastoreo en el trópico de alta calidad (alta degradabilidad de la MS, baja producción de gas y metano entérico *in vitro*), el cual puede repercutir de manera positiva tanto a nivel productivo

como ambiental en los sistemas ganaderos del trópico. Sin embargo, debe considerarse su manejo agronómico a la hora de realizar los balances nutricionales, ya que estas prácticas no sólo pueden cambiar el aporte de nutrientes del forraje, sino que también, la dinámica del forraje en el rumen.

Se recomiendan estudios más prolongados los cuales permitan evidenciar el efecto del uso del lombricompost (fertilizante orgánico) sobre los parámetros ruminales *in situ* como *in vitro* del forraje de la plata *T. diversifolia*.

### Referencias bibliográficas

Alayón, J. A., Jiménez, G., Piñeiro, Á. T., Canul, J., Albores, S., Villanueva, G. y Ku, J. C. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agroproductividad*. 11(2).

Alvarez, R., Rojas, A. y López, M. (2020). Efecto del guineo cuadrado sobre la proteína cruda, almidón, fibra y fermentación ruminal de ensilados de leguminosas. *Nutrición Animal Tropical* 14(2): 131-155.

Alvarez, R. (2017). *Emisiones in vitro de metano y parámetros ruminales a partir de mezclas ensiladas de Cratylia (Cratylia argentea), Poró (Erythrina poeppigiana) y Guineo cuadrado (Musa acuminata x balbisiana, Grupo ABB)*. Tesis inédita de licenciatura. Universidad de Costa Rica.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (1998). Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.

Apráez, J., Delgado, D. y Solarte, C. (2016). Evaluación *In vitro* de la producción de metano en variedades de pastos neozelandeses del altiplano de Nariño. *Veterinaria y Zootecnia*. 10(2): 90-105.

Arciniegas, S. y Flórez, D. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y Agricultura*, Vol. 15 (2).

Arias, L.M., Alpízar, A., Castillo, M., Camacho M.I., Arronis, V. y Padilla, J. (2018). Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. Heredia. Costa Rica. *Pastos y Forrajes*, Vol. 41, No. 4.

- Arronis, V. (2015). Banco forrajero de Botón de oro (*Tithonia Diversifolia*). *InfoAgro*, 2.
- Arronis, V. y Abarca, S. (2017). Sistemas de producción ganaderos competitivos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica (Degradación *in situ* de *Tithonia diversifolia*). Informe final. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica.
- Ascencio, L., Valles, B., Castillo, E. y Ibrahim, M. (2018) *In situ* ruminal degradation and effective degradation of foliage from six tree species during dry and rainy seasons in Veracruz, Mexico. *Agroforest Syst*, 1, 1-11.
- Astúa, M., Campos, C.M. y Rojas, A. (2021). Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad de rebrote sobre las características morfológicas y rendimiento agronómico del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) ecotipo INTA-Quepos. *Nutrición Animal Tropical* 15(1).
- Avila, Narciso., López, S., Galicia, M., González, G. y Camacho, M. (2020). Efecto de la incorporación de arbóreas a dietas de *Cynodon nlemfuensis* durante la fermentación ruminal *in vitro*. *Terra Latinoamericana*, N 38-2: 403-412.
- Botero, J., Gómez, A. y Botero, M. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(3):789-800.
- Cardona, J., U, M., Guatusmal, C., Ríos, L. y Castro, E. (2021). Producción de metano *in vitro* en recursos forrajeros del trópico altoandino de Nariño. *Pastos y Forrajes*. 44.
- Cardona, J.L., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*. 28(2).
- Carmona, J.C., Bolívar, D.M. y Giraldo, L.A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 18(1):49-63.

Cerdas, R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Revista InterSedes* N° 39. Vol 19.

Chacón, M., Reyes, C. y Segura, J. (2015). Estrategia para la Ganadería Baja en Carbono Costa Rica (Informe final: estrategia y plan de acción). Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 110 p.

Cobos, M. A., Curzaynz, K. R., Rivas, M. I., Santillán, E. A. y Bárcena, J. R. (2018). Efecto *in vitro* de dietas para corderos más un suplemento de granos secos de destilería en la fermentación ruminal y emisiones de gases. *Agrociencia* 52: 203-215.

Combs, D. (2014). Using *In Vitro* Total-Tract NDF Digestibility in Forage Evaluation. Focus on forage. 15(2):1-3.

David, D. (2017). *Respuesta de la grasa sobrepasante sobre lípidos lácteos y eficiencia reproductiva en vacas lecheras en trópico alto*. Tesis inédita de posgrado. Universidad Nacional de Colombia.

Detmann, E., Valadares-Filho, S.C., Pina, D.S., Henriques, L.T., Paulino, M.F., Magalhães, K.A., Silva, P.A. y Chizzotti, M.L. (2008). Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 143(1-4):127-147.

Di Marco, O, y Aello, M. (2005). Amonio y energía. *Rev. Angus*, Bs. As., 229:110-116.

Díaz, E., Mahecha L. y Angulo, J. (2017). *Tithonia diversifolia*: especie para ramoneo en sistemas silvopastoriles y métodos para estimar su consumo. *Agron. Mesoam*. 28(1):289-302.

Dos Santos, A.M., Santos, M.V., da Silva, L.D., dos Santos J.B., Ferreira E.A. y Tuffi, L.D. (2021). Effects of irrigation and nitrogen fertilization rates on yield, agronomic efficiency and morphophysiology in *Tithonia diversifolia*. *Agricultural Water Management*, Volume 248.

Galindo, J., Rodríguez, I., González, N., García, R. y Herrera, M. (2018). Sistema silvopastoril con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray: efecto en la población microbiana ruminal de vacas. *Pastos y Forrajes*. Vol. 41, No. 4. 273-280.

Gómez, O. y Montes de Oca, P. (1999). Estudio detallado de suelos de la Finca Santa Lucía en Barva, Heredia. [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_031.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf)

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica). (2021). Datos climáticos. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>

Jamarun, N., Pazla, R., Zain, M. y Arief. (2019). Comparison of *in vitro* digestibility and rumen fluid characteristics between the tithonia (*Tithonia diversifolia*) with elephant grass (*Pennisetum purpureum*). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 287.

Kaps, M., y Lamberson, W. R. (2004). *Biostatistics for animal science*. CABI.

Ku-Vera, J. C., Briceño, E. G., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A. J., Aguilar, C. F. Solorio, F.J. y Ramírez, L. (2014). Manipulation of the energy metabolism of ruminants in the tropics: options for improving meat and milk production and quality. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 48, Number 1.

La O, H., González, A., Orozco, Y., Castillo, O., Ruiz, A., Estrada, F., Ríos, E., Gutiérrez, H., Bernal, Valenciaga, D., Castro, B. y Hernández, Y. (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*, Tomo 46, Número 1.

López, M., Arias, L.M., Alpizar, A. y Castillo, M. (2021). Calidad de fibra y producción de metano en ensilados de leguminosas con fuentes de carbohidratos. *Nutrición Animal Tropical*. 15(2): 1-24.

Meale, S.J., Chaves, A.V., Baah, J. y McAllister, T.A. (2012). Methane production of different forages *in vitro* ruminal fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25(1): 86 – 91.

Merlo, F., Ramírez, L., Ayala, A. y Ku, J. C. (2017). Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*.

Meza, G., Meza, C., Avellaneda, J., Godoy, L., Barros, M., y Jines, F. (2021). *In vitro* ruminal degradation of *Tithonia diversifolia*. *Agronomy Mesoamerican*, 33(1), 43206.

Olfaz, M., Kilic, U., Boga, M. y Mohamoud, A. (2018). Determination of the *In Vitro* Gas Production and Potential Feed Value of Olive, Mulberry and Sour Orange Tree Leaves. *Open Life Sci.* 13: 269–278.

Orskov, E. y McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science* 92(2): 492- 503.

Paniagua, D., Arias, L.M, Castillo, M., Alpizar, A., Camacho, I., Padilla, J. y Campos, M. (2020). Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*. Vol. 43, No. 4.

Pérez, E., Tzec, M., Albores, S., Sanginés, J., Aguilar, E., Chay, A., Canul, J., Muñoz, J., Díaz, V. y Piñero, A. (2020). Degradabilidad y producción de metano *in vitro* del follaje de árboles y arbustos con potencial en la nutrición de rumiantes. *Acta Universitaria* 30.

- Pérez, G. (2019). *Potencial nutritivo del forraje de arbóreas y arbustivas: cinética de fermentación in vitro y producción de metano*. Tesis inédita de posgrado. Instituto Tecnológico de Conkal, México.
- Prieto, E., Vargas, J., Angulo, J. y Mahecha, L. (2016). Ácidos grasos, fermentación ruminal y producción de metano, de forrajes de silvopasturas intensivas con *Leucaena*. *Agron. Mesoam.* 27(2).
- Razz, R., Clavero, T. y Vergara, J. (2004). Cinética de degradación *In situ* de la *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*. *Revista Científica*, vol. XIV, núm. 5, pp. 424-430.
- Rojas, D., Alpizar, A., Castillo, M. y López, M. (2021). Efecto de la inclusión de *Musa sp*, sobre la conservación como ensilaje de *Trichanthera gigantea*. *Pastos y Forrajes*, 44(1).
- Rojas, D., Alpizar, A., Castillo, M. y López, M. (2020). Efecto de la inclusión de *Musa sp*. en la conservación de *Morus alba* Linn. *Pastos y forrajes*. Vol. 43, No. 3.
- Rodriguez, R., Galindo, J., Ruiz, T.E., Solís, C., Scull, I. Gómez, S. (2019). Valor nutritivo de siete ecotipos de *Tithonia diversifolia* colectados en la zona oriental de Cuba. *Livestock Research for Rural Development*. 31 (8).
- Ruiz, T. E., Alonso, J., Febles, G. J., Galindo, J.L., Savón, L.L., Chongo, B.B., Torres, V., Martínez, Y., La O, O., Gutiérrez, D., Crespo, G.J., Cino, D.M., Scull, I. y González, J. (2016). Estudio integral de diferentes materiales para conocer su potencial de producción de biomasa y calidad nutritiva. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 20 (3):63-82.
- SAS Institute Inc. (2009). *SAS/STAT® User's guide: Statistics*. Versión 9.0. Cary; NC, USA.
- Vega, A. (2016). *Análisis de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI) y su aplicación en sistemas de producción doble propósito en fincas ganaderas de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica*. Tesis inédita de posgrado. CATIE, Costa Rica.
- Verdecia, D.M., Herrera, R.S., Ramírez, J.L., Bodas, R., Leonard, I., Giráldez, F.J., Andrés, S., Santana, A., Méndez, Y. y López, S. (2018). Componentes del rendimiento, caracterización química y

perfil polifenólico de la *Tithonia diversifolia* en el Valle del Cauto, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 52, Number 4.

Valenciaga, D., López, J.R., Galindo, J., Ruiz, T. y Monteagudo, F. (2018). Cinética de degradación ruminal de materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* recolectados en la región oriental de Cuba. *Livestock Research for Rural Development*.

## Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones generales

Se pudo observar como el rendimiento productivo se relaciona con la edad de rebrote y el tipo de fertilización de la planta, donde al incrementarse la edad se dio una mayor absorción y aprovechamiento del nitrógeno aportado por el fertilizante químico, por lo que se alcanzaron mayores rendimientos de forraje. Al igual que la producción de biomasa los contenidos de proteína cruda aumentan con la fertilización nitrogenada química debido a la rápida disponibilidad del nitrógeno de este tipo de fertilizante para ser absorbida por la planta.

Los porcentajes de materia seca, cenizas y carbohidratos no fibrosos disminuyeron con la fertilización química y aumentó el contenido de FDN, debido a la menor relación hoja/tallo encontrado en los tratamientos donde se utilizó fertilización química. Lo cual puede estar influenciado por un incremento en el número de tallos, que a su vez generó un efecto sobre la relación hoja/tallo disminuyendo la proporción de hojas con respecto a los tallos, lo cual también ayudaría a explicar las modificaciones en la composición bromatológica de la *T. diversifolia*.

La edad de rebrote generó un efecto significativo sobre la gran mayoría de características bromatológicas (MS, PC, FDN, FDA, LIG, CEN, TND y EN<sub>t</sub>), debido a que la edad de rebrote es uno de los factores que mayor repercusión tiene sobre el rendimiento productivo y la composición bromatológica de este forraje. Con los resultados obtenidos en esta investigación se pudo observar que este comportamiento podría estar influenciado por la relación hoja/tallo, en donde al aumentar la edad de rebrote la relación cayó significativamente y esta reportado que las hojas contienen una composición bromatológica superior que la encontrada en los tallos.

Los resultados encontrados de CNF podrían hacer del forraje de *T. diversifolia* un material con alto potencial para ser ensilado ya que para esta técnica se recomiendan materiales con contenidos superiores a 20% carbohidratos no fibrosos. Los resultados obtenidos validan la planta de *T. diversifolia* como un forraje con una calidad nutricional, presentando sobresalientes contenidos de PC, bajos

porcentajes de fibra, lo cual favorece la digestibilidad del material, repercutiendo sobre la productividad del sistema.

La edad de cosecha y el tipo de fertilización influyeron de manera significativa sobre los parámetros ruminales *in vitro* como *in situ* del forraje de *T. diversifolia*. Los resultados obtenidos permiten considerar este recurso forrajero como un complemento de las gramíneas de pastoreo en el trópico de alta calidad en los sistemas ganaderos del trópico. En donde se generen efectos positivos sobre la producción de gas y de CH<sub>4</sub> y la digestibilidad de la MS de la dieta.

Se logro evidenciar como el efecto de la edad de rebrote, el tipo de fertilizantes y la interacción de ambas genero un efecto sobre el crecimiento de la planta de *T. diversifolia*, donde en el tratamiento fertilización química con edad de rebrote de 70 días la relación hoja:tallo cayo drásticamente teniendo esto un efecto directo sobre la composición bromatológica del forraje y los parámetros ruminales *in situ* como *in vitro*.

Se recomienda realizar investigaciones en donde se utilice esta planta en sistemas silvopastoriles, donde los animales consuman de manera directa el forraje, utilizando los resultados obtenidos en el tratamiento con fertilización orgánica y edad de cosecha de 30 días, logrando de esta forma sincronizar las edades de cosecha de la gramínea con la de la arbustiva, logrando producciones de biomasa altas con un excelente aporte de nutrientes, que a su vez tengan un efecto positivo sobre el medio ambiente.

Con los resultados obtenidos en la presente investigación en condiciones similares y con la variedad INTA-Quepos se recomienda el uso de fertilización nitrogenada y las edades de rebrote de 30 y 50 días, siendo la edad de 50 días la presenta una mejor relación producción, composición bromatológica y parámetros ruminales. Pero sin descartar la posibilidad de la utilización de esta planta con edades de rebrote inferiores a los 50 días aplicando fertilización nitrogenada en sistemas silvopastoriles.

Se recomienda realizar investigaciones en donde las evaluaciones se realicen durante periodos de tiempo más prolongados (mayores a un año) y de esta manera poder evidenciar el efecto de los abonos orgánicos que por sus características necesitan de un mayor tiempo para ser absorbidos y aprovechados por los forrajes. Además de completar estos trabajos con análisis de suelo (textura, químicos, microbiológicos) y de esta forma evidenciar el efecto de estos abonos no sólo sobre el forraje si no también el suelo.

### Referencias bibliográficas

- Alayón, J. A., Jiménez, G., Piñeiro, Á. T., Canul, J., Albores, S., Villanueva, G. y Ku-Vera, J. C. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agroproductividad*. 11(2).
- Alesso, S. (2014). Degradabilidad *in situ* de dos cultivares de Triticale en distintas fechas de corte. Facultad de Agronomía U.N.L.P.
- Almaraz, I., García, A.M., Sánchez, P., Torres, N., Herrera, J., Bottini, M.B. y Rojas, A.R. (2019). Análisis bromatológico y producción de gas *in vitro* de forrajes utilizados en el trópico seco mexicano. *Arch. Zootec.* 68 (262).
- Alonso, J., Achang, G., Santos, L. D. T. y Sampaio, R. A. (2013). Productividad de *Tithonia diversifolia* y conducta animal a diferentes momentos de comenzar el pastoreo. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 25, Article #192.
- Alpízar, A. (2010). *Efecto de la incorporación de diferentes niveles de morera (Morus alba), en el ensilaje de sorgo (Sorghum almum) sobre la calidad nutricional y el costo por kilogramo de materia seca digestible*. Tesis inédita de pregrado. Universidad Nacional. Costa Rica.
- Alpízar, A. (2014). *Efecto de la suplementación con Morus alba Linn en la ceba de ovinos Pelibuey en estabulación*. Tesis inédita de maestría. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Alpízar, A., Camacho, M. I., Sáenz, C., Campos, M. E. y Esperance, J. A. M. (2014). Efecto de la inclusión de diferentes niveles de morera (*Morus alba*) en la calidad nutricional de ensilajes de sorgo (*Sorghum almum*). *Pastos y Forrajes*, 37(1), 55–60.
- Alvares, R. (2017). Emisiones *in vitro* de metano y parámetros ruminales a partir de mezclas ensiladas de *Cratylia* (*Cratylia argentea*), Poró (*Erythrina poeppigiana*) y Guineo cuadrado (*Musa acuminata* x *balbisiana*, Grupo ABB). Tesis inédita de licenciatura. Universidad de Costa Rica.

AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (1998). Official methods of analysis of AOAC International. 16th ed, 4th rev. Gaithersburg, MD: AOAC International, USA.

Apráez, J.E., Delgado, D. y Solarte, C. (2016). Producción de metano *in vitro* en las variedades de pasto ryegrass: sterling nui, ohau y samson. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, v. 10, n. 2, p. 90-105, 2016. DOI: 10.17151/vetzo.2016.10.2.8.

Arce, W. (2016). Análisis de correlación y regresión entre la metodología de producción de gas y la ecuación mecanicista del Consejo Nacional de Investigación, EE. UU., (NRC 2001) determinar el contenido energético *in vitro* de forrajes. Tesis inédita de licenciatura. Universidad de Costa Rica.

Arciniegas, S. y Flórez, D. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y Agricultura*, Vol. 15 (2).

Arguedas, S. (2019). Encadenamientos productivos y multiplicadores de empleo para la actividad económica cría de ganado vacuno a partir de la matriz insumo producto Costa Rica 2012. *Revista E-Agronegocios*, 5(1). 21 p. <https://doi.org/10.18845/rea.v5i1.4031>.

Argüello, J., Mahecha, L. y Angulo, J. (2020). Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 21 (3).

Arias, L.M. (2018). *Evaluación del uso de Botón de oro (Tithonia diversifolia) como suplemento de vacas Jersey en etapa productiva*. Tesis inédita de pregrado. Universidad Nacional, Costa Rica.

Arias, L.M., Alpízar, A., Castillo, M., Camacho M.I., Arronis, V. y Padilla, J. (2018). Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. Heredia. Costa Rica. *Pastos y Forrajes*, Vol. 41, No. 4.

Arronis, V. (2015). Banco forrajero de Botón de oro (*Tithonia Diversifolia*). *InfoAgro*, 2.

Arronis, V. y Abarca, S. (2017). Sistemas de producción ganaderos competitivos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero en Costa Rica (Degradación *in situ* de *Tithonia diversifolia*). Informe final. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, Costa Rica.

Benavides, M.F., Villanueva, C., Tobar, D. y Ibrahim, M. (2013). Características socioeconómicas de los ganaderos de la Cuenca Media del río Jesús María, Costa Rica. VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável. 11 p.

Blasco, J.M. (2015). Operaciones culturales, recolección, almacenamiento y envasado de productos. Quinta edición. Editorial Elerning. España. 318 p.

Bonilla, J. y Lemus, C. (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático: Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(2), 215-246.

Botero, J., Gómez, A. y Botero, M. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(3):789-800.

Buelvas, M. (2009). Evaluación de tres tipos de fertilizantes sobre la producción de biomasa y calidad nutricional del pasto maralfalfa (*pennisetum* sp) cosechado a cuatro estadios de crecimiento diferentes. Tesis inédita de pregrado. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Bustamante, L. (2016). La lombricultura como una alternativa en la producción agrícola utilizando la lombriz roja californiana. Trabajo presentado como requisito para optar por el título de ingeniero en procesos ambientales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, México. 55 p.

Campos, C.M., Rojas, A. y Martínez, A. (2015). Digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro de 9 forrajes de piso utilizados en lecherías de altura y de bajura en Costa Rica. Proyecto de Investigación No. 739-B5-142. Universidad de Costa Rica.

Cardona, J.L. (2017). Efecto de la mezcla de *Tithonia diversifolia* - *Cenchrus clandestinus* y la adición de ácidos grasos polinsaturados sobre la producción de metano *in vitro* y la medición in vivo de

del balance nitrogenado y el desempeño productivo de vacas Holstein. Tesis inédita de maestría.

Universidad de Antioquia, Colombia.

Cardona, J.L., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Efecto sobre la fermentación *in vitro* de mezclas de *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* y grasas poliinsaturadas. *Agronomía Mesoamericana*. 28(2).

Carmona, J.C., Bolívar, D.M. y Giraldo, L.A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 18(1):49-63.

Castaño, G. y Cardona, J. (2015). Engorde de conejos alimentado con *Tithonia diversifolia*, *Trichanthera gigantea* y *Arachis pintoi*. *Revista U D C A Actualidad & Divulgación Científica* 18(1).

Castillo, E. y Domínguez, M. (2019). Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. *Rev Mex Cienc Pecu*, 10(1):120-148. 29 p.

Castillo, M. (2018). Evaluación de parámetros productivos y metabólicos en vacas lecheras suplementadas con nabo (*Brassica rapa ssp. Rapa* L.) y raps forrajeros (*Brassica napus ssp. Biennis* L.). Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Producción Animal. Valdivia, Chile. 98 p.

Castillo, R., Betancourt, T., Toral, O. C. y Iglesias, J. M. (2016). Influencia de diferentes marcos de plantación en el establecimiento y la producción de *Tithonia diversifolia*. *Pastos y Forrajes*. 39 (2):89-93.

Cerdas, R. (2011). Programa de fertilización de forrajes; desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*. 12 (24):109-128.

Cerdas, R. (2018). Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Revista InterSedes* N° 39. Vol 19.

CORFOGA (Corporación Ganadera). (2012). Resultado de la Encuesta Ganadera 2012. San José, Costa Rica.

Costa, K., Oliveira, I., Faquin, V., Neves, B., Rodrigues, C. y Sampaio, F. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-51. *Ciênc Agrotec Lavras*;31(4): 1197-202.

Crespo, G., Ruiz, T. E. y Álvarez, J. (2011). Efecto del abono verde de *Tithonia (T. diversifolia)* en el establecimiento y producción de forraje de *P. purpureum* vc. Cuba CT-169 y en algunas propiedades del suelo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45, 79–82.

Cruz, J. y Nieuwenhuyse, A. (2008). Establecimiento y manejo de leñosas arbustivas en bancos de proteínas y en sistemas en callejones. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 151 p. (Serie técnica. Manual técnico, no.86).

Chacón, M., Reyes, C. y Segura, J. (2015). Estrategia para la Ganadería Baja en Carbono Costa Rica (Informe final: estrategia y plan de acción). Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica. 110 p.

De Gracia, M. (2015). Guía para el Análisis Bromatológico de Muestras de Forrajes. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad de Panamá. 55 p.

De la Rosa, B., Martínez, A. y Argamentería, A. (2002). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. *Pastos*, XXXII (1), 91- 104

Detmann, E., Valadares-Filho, S.C., Pina, D.S., Henriques, L.T., Paulino, M.F., Magalhães, K.A., Silva, P.A. y Chizzotti, M.L. (2008). Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Animal Feed Science and Technology*. 143(1-4):127-147.

Díaz, V. y Callejo, A. (2019). Calidad del forraje y del heno. Consultado el 20 de febrero del 2019, en: [http://oa.upm.es/34352/1/INVE\\_MEM\\_2004\\_186668.pdf](http://oa.upm.es/34352/1/INVE_MEM_2004_186668.pdf).

Dos Santos, A.M., Santos, M.V., da Silva, L.D., dos Santos J.B., Ferreira E.A. y Tuffi, L.D. (2021). Effects of irrigation and nitrogen fertilization rates on yield, agronomic efficiency and morphophysiology in *Tithonia diversifolia*. *Agricultural Water Management*, Volume 248.

Elizondo, J. (2007). Producción y calidad de la biomasa de morera (*Morus alba*) fertilizada con diferentes abonos. *Agronomía mesoamericana*, 18(2).

Elizondo, J. (2008). Respuesta de la morera (*Morus alba*) a niveles crecientes de nitrógeno orgánico. *Agronomía mesoamericana*. Proyecto de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, No. 737-A4-049.

Elizondo, J. (2017). Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agron. Mesoam.* 28(2):329-340.

Fallas, R. y Escoto, A. (2007). Reducción de la contaminación ambiental mediante la producción de lombricompost a partir de residuos orgánicos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 39 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009a). La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. Roma, Italia.

FAO. (2000). Mejorando la nutrición a través de los huertos y granjas familiares. Manual de capacitación para trabajadores de campo en América Latina y Caribe. Roma, Italia

FAO. (2009b). Los Fertilizantes y su uso. Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>.

Flores, J., Vázquez, R., Solano, J., Aguirre, V., Flores, F., Bahena, M., Oliver, R., Granjeno, A. y Orihuela, A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 213-220.

Gallego, L.A., Mahecha, L. y Angulo, J. (2017). Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía mesoamericana*, 28(1).

García, A., Thiex, N., Kalscheur, K. (2003). Interpretación del análisis del ensilaje de maíz. College of Agriculture y Biological Sciences de SDSU. South Dakota State University.

García, D., Medina, M.G., Clavero, T., Humbría, J., Baldizán, A. y Domínguez, C. (2008). Preferencia de árboles forrajeros por cabras en la zona baja de los andes Venezolanos. *Revista Científica* ISSN 0798-2259.

Giraldo, J., Sinisterra, J.A. y Murgueitio, E. (2011). Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. *Leisa, Revista Agroecológica*. Volumen 27, Numero 2.

Gómez, O. y Montes de Oca, P. (1999). Estudio detallado de suelos de la Finca Santa Lucía en Barva, Heredia. [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_xi/a50-6907-III\\_031.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_031.pdf)

Gonzales, K. (2017). Valor nutricional de los pastos. Revista digital Zootecnia es mi pasión. [https://zoovetesmpasion.com/pastos-y-forrajes/valor-nutricional-los-pastos/#materia\\_seca\\_ms](https://zoovetesmpasion.com/pastos-y-forrajes/valor-nutricional-los-pastos/#materia_seca_ms)

González, J. C., Hahn von, C. M. y Narváez, W. (2014). Botanical characteristics of *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) and its use in animal diet. Boletín científico centro de museos museo de historia natural. 18(2), 45–58. 26.

Guatusmal, C., Escobar, L.D., Meneses, D. H., Cardona, J. L. y Castro, E. (2020). Producción y calidad de *Tithonia diversifolia* y *Sambucus nigra* en trópico altoandino colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 31 (1):193-208.

Hernández, G., Villanueva, C., Medina, J., Tobar, D. y Louman, B. (2014). Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas de Honduras. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p. (Serie Técnica, Materiales de extensión / CATIE, no. 13).

Holguin, V.A., Ortiz, S., Velasco, A. y Mora, J. (2015). Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, valle del Cauca. *Rev. Med. Vet. Zoot.* vol.62, n.2.

Holmann, F., Rivas, L., Pérez, E., Castro, C., Schuetz, P. y Rodríguez, J. (2007). La Cadena de Carne Bovina en Costa Rica. CIAT-ILRI-CORFOGA, San José. Costa Rica.

Huaman, L., Vásquez H. y Oliva, M. (2018). Fertilizantes orgánicos en la producción de pastos nativos en Molinopampa, Amazonas-Perú. *Revista de investigación agroproducción sustentable*, 2(3).

Hymøller, L., Alstrup, L., Larsen, M. K., Lund, P. y Weisbjerg, M. R. (2014). High-quality forage can replace concentrate when cows enter the deposition phase without negative consequences for milk production. *Journal of dairy science*, 97(7), 1–11.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica). (2017). Datos climáticos. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>.

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas). (2014). VI Censo Nacional Agropecuario. Recuperado el 23 de febrero de 2019, en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00338.pdf>.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina). (2014). Nutrición animal aplicada. Área de Investigación en Producción Animal Grupo de Nutrición Animal INTA. 160 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *Climate change 2007: synthesis*. Recuperado el 23 de febrero de 2019, en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_full_report.pdf).

Jamarun, N., Pazla, R., Zain, M. y Arief. (2019). Comparison of *in vitro* digestibility and rumen fluid characteristics between the tithonia (*Tithonia diversifolia*) with elephant grass (*Pennisetum purpureum*). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 287.

Jaramillo, O. y Seberino, O. (2015). Composición química, valor nutritivo y cinética de degradación *in vitro* de *Pennisetum purpureum* var. CT-115 cosechada a tres intervalos de corte. Tesis inédita de pregrado. Universidad Autónoma del Estado de México, México.

Jiménez, J. (2018). *Efecto de la época y los días de rebrote sobre la producción y la calidad nutritiva de pastos en Costa Rica*. Tesis inédita de maestría. Universidad Nacional, Costa Rica.

Kaps, M., y Lamberson, W. R. (2004). *Biostatistics for animal science*. CABI.

Ku-Vera, J. C., Briceño, E. G., Ruiz, A., Mayo, R., Ayala, A. J., Aguilar, C. F. Solorio, F.J. y Ramírez, L. (2014). Manipulation of the energy metabolism of ruminants in the tropics: options for improving meat and milk production and quality. Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 48, Number 1.

La O, H., González, A., Orozco, Y., Castillo, O., Ruiz, A., Estrada, F., Ríos, E., Gutiérrez, H., Bernal, Valenciaga, D., Castro, B. y Hernández, Y. (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, Tomo 46, Número 1.

Lezcano, Y., Soca, M., Ojeda, F., Roque, E., Fontes, D., Montejo, I. y Cubillas, N. (2012). Caracterización bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en dos etapas de dos etapas de su ciclo fisiológico. *Pastos y Forrajes*, 35(3), 275–282.

López, E. y Zeledón, V. (2016). Efectos de Fertilización Orgánica y Sintética en el Desarrollo de Forraje Nacadero (*Trichanthera gigantea*) en la Finca Buena Vista, San Ramón Matagalpa, Primer Semestre, 2015. Monografía para optar el título de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua. 65 p.

López, M. (2017). *Efecto del ensilado de cuatro leguminosas en mezcla con diferentes fuentes de carbohidratos sobre la fermentación, calidad nutritiva y producción de metano*. Tesis inédita de maestría. Universidad Nacional de Costa Rica.

López, M. y Briceño, E. (2016). Efecto de la frecuencia de corte y la precipitación en el rendimiento de *Cratylia argentea* orgánica. *Nutrición Animal Tropical* 10(1).

López, M., Arias, L.M., Alpizar, A. y Castillo, M. (2021). Calidad de fibra y producción de metano en ensilados de leguminosas con fuentes de carbohidratos. *Nutrición Animal Tropical*. 15(2): 1-24.

López, V. (2018). *Eficiencia de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje en pastos perennes*. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Central del Ecuador.

- Madriz, J. A. (2017). Sector lácteo costarricense en el marco de la apertura comercial. 23 Congreso Nacional Lechero 2017, 75.
- Mahecha, L., Escobar, J. P., Suárez, J. F. y Restrepo, L. F. (2007). *Tithonia diversifolia* (hemsl.) Gray (Botón de oro) as forage supplement of Holstein x Zebu cows.
- Martínez, A. y Leyva, A. (2014). Biomass crops in the agroecosystem. Its benefits agroecological. *Revista Cultivos Tropicales*, 35(1), 11–20.
- Meale, S.J., Chaves, A.V., Baah, J. y McAllister, T.A. (2012). Methane production of different forages in *in vitro* ruminal fermentation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 25(1): 86 – 91.
- Merlo, F., Ramírez, L., Ayala, A. y Ku, J. C. (2017). Efecto de la edad de corte y la época del año sobre el rendimiento y calidad de *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Staff en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science*.
- Naranjo, J. y Cuartas, C. (2011). Caracterización nutricional y de la cinética de degradación ruminal de algunos de los recursos forrajeros con potencial para la suplementación de rumiantes en el trópico alto de Colombia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6 (1), 9-19.
- Navas, A. y Montaña, V. (2019). Comportamiento de *Tithonia diversifolia* bajo condiciones de bosque húmedo tropical. *Rev Inv Vet*; 722 30(2).
- NRC (National Research Council). (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. National Academy Press. Washington DC. 408 p.
- Olmedo, A. (2009). Influencia de las fases lunares, (Menguante y Luna Llena) sobre la propagación vegetativa del Botón de oro *Tithonia diversifolia* para la formación de un banco de proteína, 1–141. Recuperado el 23 de febrero de 2019, en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2600>.

Oluwasola, T. y Dairo, F. (2016). Proximate composition, amino acid profile and some anti-nutrients of *Tithonia diversifolia* cut at two different times. *African journal of agricultural Research*. Vol. 11(38).

Orskov, E. y McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science* 92(2): 492- 503.

Paniagua, D., Arias, L.M, Castillo, M., Alpizar, A., Camacho, I., Padilla, J. y Campos, M. (2020). Efecto de la densidad de siembra y edad de rebrote en la producción y composición bromatológica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*. Vol. 43, No. 4.

Paniagua, D., Castillo, M., Arias, L.M., Alpizar, A. y Padilla, J. (2019). Evaluación productiva y bromatológica del "Botón de Oro" (*Tithonia diversifolia*) como suplemento alimenticio en rumiantes. Boletín técnico. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

Pedroza, P. (2017). Efecto de la fertilización con lombricomposta en el desarrollo de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en un sistema silvopastoril en sur del estado de México. Tesis para optar por el título de Licenciatura de ingeniero agrónomo zootecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. Temascaltepec, México. 126 p.

Pentón, G., Martín, G.J., Brea, O., Hernández, O. y Schmidt, P. (2020). Efecto de la fertilización orgánica en indicadores morfológicos y agronómicos de dos variedades de *Manihot esculenta* Crantz. *Pastos y Forrajes*, Vol. 43, No. 2.

Pérez, A., Montejo, I., Iglesias, J.M., López, O., Martín, G.J., García, D.E., Milán, I. y Hernández, A. (2009). *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Pastos y Forrajes*, 32(1), 1–15.

Pezo, D. y García, F. (2018). Uso Eficiente de Fertilizantes en Pasturas. Serie técnica, Boletín técnico/ CATIE; n 98. Turrialba, Costa Rica. 56 p.

Pond, W. G., Church, D. C., y Pond, K. R. (2003). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales (2nd ed.). Noriega, México: Editorial Limusa.

Pulido, R. y Leaver, J. (2000). Degradabilidad ruminal del forraje disponible en la pradera y del aparentemente consumido por vacas lecheras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (5),1003-1009.

Quevedo, M. (2014). *Efecto de un sistema silvopastoril sobre la calidad de la leche, comparado con un sistema de producción convencional*. Tesis inédita de maestría. Universidad Nacional de Colombia.

Ramos, D. y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.

Reyes, J. (2012). *Evaluación de la digestibilidad in situ de los nutrientes y variables ruminales del ensilado de caña de azúcar con diferente fuente de proteína*. Tesis inédita de doctorado. Universidad de Guadalajara. México.

Rivera, J., Lopera, J., Chará, J., Gómez-Leyva, J., Barahona, R. y Enrique, E. (2019). Genetic and morphological diversity of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray for use in silvopastoral systems of Latin America. Book of Abstract 4th World Congress on Agroforestry. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry. pp 712.

Rivera, J.E., Cuartas, C.A., Naranjo, J.F., Tafur, O., Hurtado, E.A., Arenas, F.A., Chará, J. y Murgueitio, E. (2015). Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano.

Rodríguez, I. (2017). Potencialidades de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray en la alimentación animal. LRRD. 29 (4). <http://www.lrrd.org/lrrd29/4/cont2904.htm>

Rodríguez, R., Sosa, A. y Rodríguez, Y. (2007). La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia para los rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 41, núm. 4. pp. La Habana, Cuba.

Rogério, M., Calsavara, L., Ribeiro, R.S., Pereira, L., Freitas D.S., Paciullo, D., Barahona, R., Rivera, J., Chará, J. y Murgueitio, E. (2017) Feed Ruminants using *Tithonia Diversifolia* as a Forage. *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*. Res 5(4).

Rojas, D., Alpizar, A., Castillo, M, Á. y López, M. (2021). Efecto de la inclusión de *Musa sp*, sobre la conservación como ensilaje de *Trichantera gigantea*. *Pastos y Forrajes*, 44(1).

Rojas, D., Alpizar, A., Castillo, M. y López, M. (2020). Efecto de la inclusión de *Musa sp*. en la conservación de *Morus alba* Linn. *Pastos y forrajes*. Vol. 43, No. 3.

Rosero, R. y Posada, S. (2007). Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Rev Col Cienc Pec* 20:174-182. 9 p.

Ruíz, T. E., Alonso, J., Febles, G. J., Galindo, J.L., Savón, L.L., Chongo, B.B., Torres, V., Martínez, Y., La O, O., Gutiérrez, D., Crespo, G.J., Cino, D.M., Scull, I. y González, J. (2016). Estudio integral de diferentes materiales para conocer su potencial de producción de biomasa y calidad nutritiva. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 20 (3):63-82.

Saavedra, C., Hernández, L. A., Hernández, K. y Corzantes, M. A. E. (2011). Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación Informe final 2011 de una investigación Cofinanciada por la DIGI Programa Universitario de Investigación: Alimentación y Nutrición Título: Comportamiento de especies forrajeras c, 1–37.

Saavedra, S. (2016). Fenología y fisiología de semillas de Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. Fenología y fisiología de semillas de Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 74p.

Santana, Y. y Ortega, R. (2009). Orientación sobre la agricultura urbana: una vía para la sostenibilidad. *Revista Desarrollo Local Sostenible*. Vol 2, Nº 6. 17 p.

Santiesteban, R., Lambert, T., Arístides, A.J. y González, O. (2021). Respuesta del sorghum bicolor a la fertilización orgánica y mineral en la comuna xangongo, provincia Cunene, Angola. *Revista Granmense de desarrollo local*, vol 5, Nº1.

SAS Institute Inc. (2009). *SAS/STAT® User's guide: Statistics*. Versión 9.0. Cary; NC, USA.

Sotelo, A., Contreras, C., Norabuena, E., Castañeda, R., Van Heurck, M. y Bullón, L. (2016). Digestibilidad y energía digestible de cinco leguminosas forrajeras tropicales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 306-314.

Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: Definiciones y procesos. In *Abonos Orgánicos: Principios, características e impacto en la agricultura*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Ciencias Agroalimentarias. 20-50.

Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., Mc Allan, A. B. y France, J. (1984). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feed. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 48:185

Tobía, C., Rojas, A., Villalobos, E., Soto, H. y Uribe, L. (2004). Sustitución parcial del alimento balanceado por ensilaje de soya y su efecto en la producción y calidad de la leche, *Agronomía Costarricense* 28(2), 28.

Tobía, C., Villalobos, E., Rojas, A., Soto, H. y Moore, K.J. (2008). Nutritional value of soybean (*Glycine max* L. Merr.) silage fermented with molasses and inoculated with *Lactobacillus brevis* 3. *Livestock Research for Rural Development* 20(7): 1 – 9.

Toruño, I., Villanueva, C., López, M., Tobar, D. y Louman, B. (2014). Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas de Nicaragua. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 40 p. (Serie técnica. Materiales de extensión, no. 12).

Valdez, A. (2013). Digestibilidad in vivo de forraje verde hidropónico proveniente de avena en las condiciones de la comarca lagunera. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de: Médico veterinario zootecnista. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Coahuila, México. 31 p.

Valenciaga, D., López, J.R., Galindo, J., Ruiz T. y Monteagudo, F. (2018). Cinética de degradación ruminal de materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* recolectados en la región oriental de Cuba. *Livestock Research for Rural Development* 30 (11).

Van-Soest, P.V., Robertson, J.B. y Lewis, B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583-3597.

Vega, A. (2016). *Análisis de herramientas para la estimación de gases de efecto invernadero (GEI) y su aplicación en sistemas de producción doble propósito en fincas ganaderas de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica*. Tesis inédita de posgrado. CATIE, Costa Rica.

Vega, E., Sanginés, L., Gómez, A., Hernández, A., Solano, L., Escalera, F. y Loya, J. (2019). Reemplazo de alfalfa con *Tithonia diversifolia* en corderos alimentados con ensilado de caña de azúcar y pulidura de arroz. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias*; 10(2).

Villalobos, L. y Sánchez, J. (2010). Evaluación agronómica y nutricional del pasto ryegrass perenne tetraploide (*Lolium perenne*) producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica. I. Producción de biomasa y fenología. *Agron. Costarricense* 34(1): 31-42.

Villalobos, L., Arce, J. y WingChing, R. (2013). Producción de biomasa y costos de producción de pastos Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y Ryegrass Perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 37(2): 91-103.

Viquez, A. (2006). Efecto de cinco dosis crecientes de lombricompost y estiércol fresco bovino sobre la producción y el valor nutritivo de *Brachiaria brizantha* cv. Toledo bajo condiciones controladas, Santa Clara, San Carlos. Trabajo Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Costa Rica. 70 p.

Zamora, J. (2019). Composición química, degradabilidad y cinética ruminal *in situ* del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en diferentes periodos de corte. Tesis inédita de pregrado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.