



Tropical Grasslands -Forrajes Tropicales

Online Journal

VOL. 12 N. 1

JANUARY 2024



ISSN: 2346-3775



International Center for Tropical Agriculture
Since 1967 *Science to cultivate change*

Published by:
International Center for
Tropical Agriculture
(CIAT), Cali, Colombia



In association with:

The Tropical Crops Genetic Resources
Institute of The Chinese Academy of
Tropical Agricultural Sciences
(TCGRI-CATAS), Haikou, Hainan, P.R. China

International Center for Tropical Agriculture (CIAT) retains copyright of articles with the work simultaneously licensed under the *Creative Commons Attribution 4.0 International License* (to view a copy of this license, visit creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Accordingly, users/readers are free to **share** (to copy, distribute and transmit) and to **remix** (to adapt) the work under the condition of giving the proper **attribution**.

Forage and livestock experts who provided peer reviews of submissions in 2023

Carlos M. Arriaga Jordán, Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico

Juan Carlos Benavides Cruz, Agrosavia, Colombia

Wilson Andrés Barragán Hernández, Agrosavia, Colombia

Pável Bautista Solís, Universidad Nacional (UNA), Costa Rica

Stefan Burkart, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Colombia

Juan Andrés Cardoso Arango, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Colombia

Epigmenio Castillo Gallegos, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico.

Bruce Cook, ex Queensland Department of Agriculture and Fisheries, Australia

Kendrick Cox, Queensland Department of Agriculture and Fisheries, Australia

Rob Dixon, University of Queensland, Australia

Nick Ellison, Independent Researcher, New Zealand

Javier Francisco Enríquez Quiroz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Mexico

Carlos Alfredo Gómez Bravo, Universidad Nacional Agraria - La Molina, Peru

Orlando Guenni, Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Delfín Gutiérrez González, Instituto de Ciencia Animal (ICA), Cuba

Michael Hare, Ubon Forage Seeds Co. Ltd, Thailand

Masahiko Hirata, University of Miyazaki, Japan

Jorge Iraola-Pérez, Instituto de Ciencia Animal (ICA), Cuba

José G. Jiménez-Ferrer, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Mexico

Chris Jones, International Livestock Research Institute (ILRI), Kenya

Felipe López González, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Mexico.

Brigitte Maas, Consultant, Germany

Siriwan Martens, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, Germany

Yordan Martínez Aguilar, Universidad Zamorano, Honduras

Madeleidy Martínez Pérez, Instituto de Ciencia Animal (ICA), Cuba

Bryan Mendieta-Araica, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

Sonia D. Ospina, Agrosavia, Colombia

José M. Palma-García, Universidad de Colima, Mexico

Bruce Pengelly, Consultant, Australia

Michael Peters, International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Kenya

Adrián Quero, Colegio de Postgraduados Montecillo, México

Idupulapati Rao, Agricultural Consultant, USA

José Ney Ríos, Tropical Agriculture Research and Higher Education Center (CATIE), Costa Rica

Julián Esteban Rivera, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Colombia

Ralph Roothaert, World Vegetable Center, Kenya

Carlos Sandoval Castro, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Mexico

Urs Schulthess, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), China

Max Shelton, University of Queensland, Australia

Ewald Sieverding, University of Hohenheim, Germany

Lynn Sollenberger, University of Florida, USA

Francisco Javier Solorio, Universidad Autónoma de Yucatán, Mexico

Werner Stür, ex University of Queensland, Australia

Girma Tesfahun, The International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Morocco

Mark van de Wouw, HAS University of Applied Sciences, Netherlands

Eduardo Vásquez, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden

Joao Vendramini, University of Florida, USA

Cristobal Villanueva, Tropical Agriculture Research and Higher Education Center (CATIE), Costa Rica

Katherine Whitehouse, Australian Grains Genebank, Australia

Editors

Jean Hanson, Managing Editor

International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia

Danilo Pezo, Co-editor (Spanish)

Tropical Agriculture Research and Higher Education
Center (CATIE), Costa Rica

Management Committee

Jean Hanson (Chair),

International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia

Liu Guodao (Co-chair),

Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences
(CATAS), P.R. China

Robert J. Clements,

Agricultural Consultant, Australia

Asamoah Larbi,

Agricultural Consultant, Ghana

Michael Peters,

International Center for Tropical Agriculture, Kenya

Danilo Pezo,

Tropical Agriculture Research and Higher Education
Center (CATIE), Costa Rica

Rainer Schultze-Kraft,

International Center for Tropical Agriculture, Colombia

Cacilda B. do Valle,

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
(Embrapa), Brazil

Lyle Winks,

Former editor of “Tropical Grasslands”, Australia

Editorial Board

Jacobo Arango,

International Center for Tropical Agriculture, Colombia

Orlando Guenni,

Universidad Central de Venezuela (UCV), Venezuela

Caterina Batello,

Food and Agriculture Organization of the United Nations
(FAO), Italy

Jean Hanson,

International Livestock Research Institute (ILRI),
Ethiopia

Lindsay Bell,

The Commonwealth Scientific and Industrial Research
Organisation, Australia

Michael David Hare,

Ubon Forage Seeds Co. Ltd, Thailand

Robert J. Clements,

Agricultural Consultant, Australia

Huan Hengfu,

Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences
(CATAS), P.R. China

Bruce Cook,

Agricultural Consultant, Australia

Mario Herrero,

Cornell University, USA

Albrecht Glatzle,

Iniciativa para la Investigación y Transferencia de
Tecnología Agraria Sostenible (INTTAS), Paraguay

Masahiko Hirata,

University of Miyazaki, Japan

Peter Horne,
Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Australia

Johann Huguenin,
Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), France

Muhammad Ibrahim,
Tropical Agriculture Research and Higher Education Center (CATIE), Costa Rica

Asamoah Larbi,
Agricultural Consultant, Ghana

Carlos E. Lascano,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá, Colombia

Robert Paterson,
Agricultural Consultant, Spain

Bruce Pengelly,
Agricultural Consultant, Australia

T. Reginald Preston,
University of Tropical Agriculture Foundation (UTA), Colombia

Kenneth Quesenberry,
University of Florida, USA

Idupulapati Rao,
Agricultural Consultant, USA

H. Max Shelton,
The University of Queensland, Australia

Cacilda B. do Valle,
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brazil

Principal Contacts

Jean Hanson
International Livestock Research Institute (ILRI), Ethiopia
Email: Alliance-TGFT-Editor-EN@cgiar.org

Danilo Pezo
Tropical Agriculture Research and Higher Education Center (CATIE), Costa Rica
Email: Alliance-TGFT-Editor-ES@cgiar.org

María José Estupiñán
Statistical analysis
International Center for Tropical Agriculture (CIAT)
Colombia
Email: m.estupinan@cgiar.org

Technical Support
Isabela Rivas and José Luis Urrea-Benítez
International Center for Tropical Agriculture (CIAT)
Colombia
Email: CIAT-TGFT-Journal@cgiar.org

Table of Contents / Tabla de Contenido

Research papers / Artículos científicos

Dinámica de formación de tallos, rendimiento y análisis bromatológico del pasto Mulato II (*Urochloa* híbrido) en el Trópico Seco de México 1

Adelaido Rafael Rojas García, María de los Ángeles Maldonado Peralta, Santo Ángel Ortega Acosta, Francisco Palemón Alberto, Hermes Pérez Hernández, Joel Ventura Ríos

Mimosine concentration in giant leucaena (*Leucaena leucocephala* subsp. *glabrata*) fluctuates with age and plant part 11

Michael Honda, Dulal Borthakur

Aplicación de dos modelos basados en teledetección para estimar la producción primaria neta aérea en un sistema pastoril en la Altillanura colombiana 24

Raúl Alejandro Díaz Giraldo, Mauricio Álvarez de León†, Otoniel Pérez López, Sonia Lucía Gutiérrez Parrado, Miguel Andrés Arango Argotí

Short Communications / Notas Técnicas

Caracterización morfo-productiva de materiales de *Tithonia diversifolia* recolectados en el estado de Chiapas, México 36

Jatnel Alonso Lazo, Reynol Grajales Zepeda, Roque Hernandez Lopez, Lorenzo Peres Soto, Lazaro Castro Hernandez, Maria Erendida Reyes Gracia

Artículo Científico

Dinámica de formación de tallos, rendimiento y análisis bromatológico del pasto Mulato II (*Urochloa* híbrido) en el Trópico Seco de México

*Stem formation dynamics, yield and bromatological analysis of Mulato II grass (*Urochloa* hybrid) in the dry tropics of Mexico*

ADELAIDO RAFAEL ROJAS GARCÍA¹, MARÍA DE LOS ÁNGELES MALDONADO PERALTA¹, SANTO ÁNGEL ORTEGA ACOSTA¹, FRANCISCO PALEMÓN ALBERTO¹, HERMES PÉREZ HERNÁNDEZ² Y JOEL VENTURA RÍOS²

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Iguala, México. uagro.mx

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. uaaan.edu.mx

Resumen

Los forrajes en el trópico seco constituyen la fuente principal de alimentación en las unidades ganaderas, contribuyendo a mejorar el bienestar animal y la calidad de carne y leche. El objetivo del estudio fue evaluar la dinámica de tallos, crecimiento, rendimiento y análisis bromatológico de *Urochloa* híbrido cultivar 'Mulato II' al variar el intervalo de corte y la altura remanente, en épocas de seca y lluvia. Las variables evaluadas fueron: dinámica de tallos, dinámica de crecimiento, características estructurales, proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) dejando una altura residual de 10 y 15 cm en época seca y lluvia en un análisis de crecimiento de 8 semanas. Fueron 8 parcelas experimentales correspondientes a cada día de corte midiendo cada parcela de 3 × 3 m con 3 repeticiones distribuidas en un diseño completamente al azar por la pendiente del terreno irregular. Del estadio de 49 a los 56 días se registró la mayor densidad de tallos, independientemente del pasto, con un promedio de 360 tallos/m². El crecimiento neto de las hojas del pasto Mulato II mostró la siguiente tendencia de mayor a menor: 15 cm lluvia > 15 cm seca > 10 cm de lluvia > 10 cm seca con 209, 183, 155 y 133 cm/tallo, respectivamente ($P \leq 0.05$). Independientemente de la altura de corte y época del año, la PC del componente hojas disminuyó de 19.8 a 7.9%, entre los 7 y 63 días, respectivamente ($P < 0.05$). Se debe cortar el pasto Mulato II de 35 a 42 días después del rebrote y a una intensidad de 15 cm.

Palabras clave: Altura residual, biomasa, composición química, recambio de tejido.

Abstract

Forage in the dry tropics constitutes the most sustainable feed source for livestock, contributing the most to improving animal welfare, meat and milk quality. The objective of this study was to evaluate the dynamics of stems, growth, yield and bromatological analysis of *Urochloa* hybrid cultivar 'Mulato II' by varying the days of cutting and cutting height in the dry and rainy seasons. The variables evaluated were: stem dynamics, growth dynamics, structural characteristics, crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), leaving a residual height of 10 and 15 cm in the dry and rainy seasons in an 8-week growth analysis. There were 8 experimental plots corresponding to each day of cutting, each plot measuring 3 × 3 m with 3 replicates distributed in a completely random design based on the slope of the irregular terrain. From the stage of 49 to 56 days, the highest density of stems was recorded, regardless of the season and cutting height, with an average of 360 stems/m². The net growth of Mulato II grass leaf blades showed the following trend from highest to lowest: 15 cm rain > 15 cm dry > 10 cm rain > 10 cm dry with 209, 183, 155 and

Correspondencia: Joel Ventura Ríos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315.
Correo electrónico: joelventur@gmail.com

133 cm/stem, respectively ($P \leq 0.05$). The CP concentration varied from 19.80 to 7.9 %, for harvests at 7 and 63 days, respectively; regardless of the cutting height and time of the year ($P < 0.05$). Mulato II grass should be cut at 35 to 42 days after regrowth and at an intensity of 15 cm.

Keywords: Biomass, chemical composition, tissue turnover, residual height.

Introducción

Los forrajes constituyen la fuente más económica y sustentable en las unidades ganaderas, siendo parte fundamental en la alimentación animal. El bajo valor nutritivo de las gramíneas forrajeras en las regiones tropicales se debe en principio a características genéticas de las plantas (Zhang et al. 2004), exacerbadas por el mal manejo de praderas, lo que resulta en una limitación en la productividad de los rumiantes en pastoreo (Da Silva et al. 2015). Estas pasturas presentan un elevado contenido de paredes celulares y baja concentración de proteína bruta, y derivado de ello se afecta la digestibilidad y el consumo voluntario (Lara et al. 2009).

El manejo de la pradera modifica la adaptación, calidad, el potencial productivo y la persistencia de las especies forrajeras (Pinto et al. 2005). Además, estos parámetros se pueden modificar dependiendo el intervalo de corte y altura de pastoreo (Cruz et al. 2011; Hernández et al. 2012; Rojas et al. 2018). Por otra parte, Beltrán et al. (2005) mencionan que la calidad del forraje está determinada por la cantidad y tipo de tejido verde defoliado, dinámica de población de tallos, área foliar remanente, frecuencia de corte y estado fisiológico de las plantas.

En áreas tropicales de México se ha evaluado el efecto de la intensidad de pastoreo sobre la calidad nutritiva de gramíneas; así, Cruz et al. (2017a) reportaron que para el cultivar 'Mulato' (*Urochloa* híbrido 36061), con pastoreos cada 28 días, la intensidad de pastoreo dejando un residuo de 13 a 15 cm de altura mejoró el rendimiento hasta un 55 % en la época lluviosa, no así, en períodos de frente fríos y estaciones secas. Además, encontraron un menor contenido de proteína cuando aumentó la frecuencia y residuo de pastoreo con 88 g/kg MS. Aniano-Aguirre et al. (2022) trabajando con los híbridos de *Urochloa* Mulato II, Convert 330 y Convert 431 reportaron un crecimiento de tejido total de 169, 133 y 104 cm/tallo, respectivamente ($P=0.05$), aumentando la senescencia y peso por tallo en la octava semana de rebrote.

En México, bajo las condiciones del trópico seco, existe poca investigación sobre el efecto del manejo de la defoliación sobre el recambio de tejido y composición química de gramíneas tropicales. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto del

intervalo y altura de corte, sobre el recambio de tejido y dinámica de población de tallos en *Urochloa* híbrido cultivar 'Mulato II', en época seca y de lluvias, para determinar el momento óptimo de aprovechamiento de este pasto bajo esas condiciones.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó de enero a octubre de 2017 en parcelas establecidas en terrenos de la Facultad de Medicina Veterinaria No. 2 de la Universidad Autónoma de Guerrero, ubicada en Cuajinicuilapa, Guerrero, (México). El sitio experimental está localizado en las coordenadas 16° 28' 28" de latitud Norte y 98° 25' 11.27" de longitud Oeste, a una altitud de 46 msnm. El clima está clasificado como Aw de acuerdo a Köppen, y es denominado como trópico seco (García 2004). La temperatura media anual en el periodo de estudio fue de 26.9 °C y con una precipitación de solo 15 mm por mes entre enero y marzo; pero, en la época de lluvias (agosto, septiembre y octubre) se registró una precipitación de 699 mm (Figura 1), reportando una precipitación acumulativa anual de 1,184 mm. En la época de seca se aplicaron riegos por gravedad a capacidad de campo cada 8 días. Los datos climáticos se obtuvieron de la estación agrometeorológica de Conagua ubicada a 1,000 m del sitio experimental (Conagua, 2017).

Manejo de las parcelas

La siembra de *Urochloa* híbrido cultivar 'Mulato II' (CIAT 36087) se realizó el 10 de octubre de 2016 con una densidad de 8 kg/ha de semilla pura viable. El distanciamiento usado fue de 50 cm entre surcos y 5 cm entre plantas. No se aplicó fertilización ni agroquímicos en todo el periodo experimental. Se sembraron 3 parcelas de 10 × 10 m, las que se constituyeron en bloques. Así mismo, cada una de esas parcelas se dividió en dos parcelas de 5 × 10 m para evaluar el efecto de la altura residual posterior al corte (10 y 15 cm) y estas a su vez en 8 sub-parcelas, donde se realizaron cortes a intervalos de una semana, desde los 7 hasta los 56 días de rebrote, para evaluar el recambio de tejido, dinámica de población de tallos, análisis bromatológico. Los muestreros se efectuaron en dos épocas: seca y de lluvias.

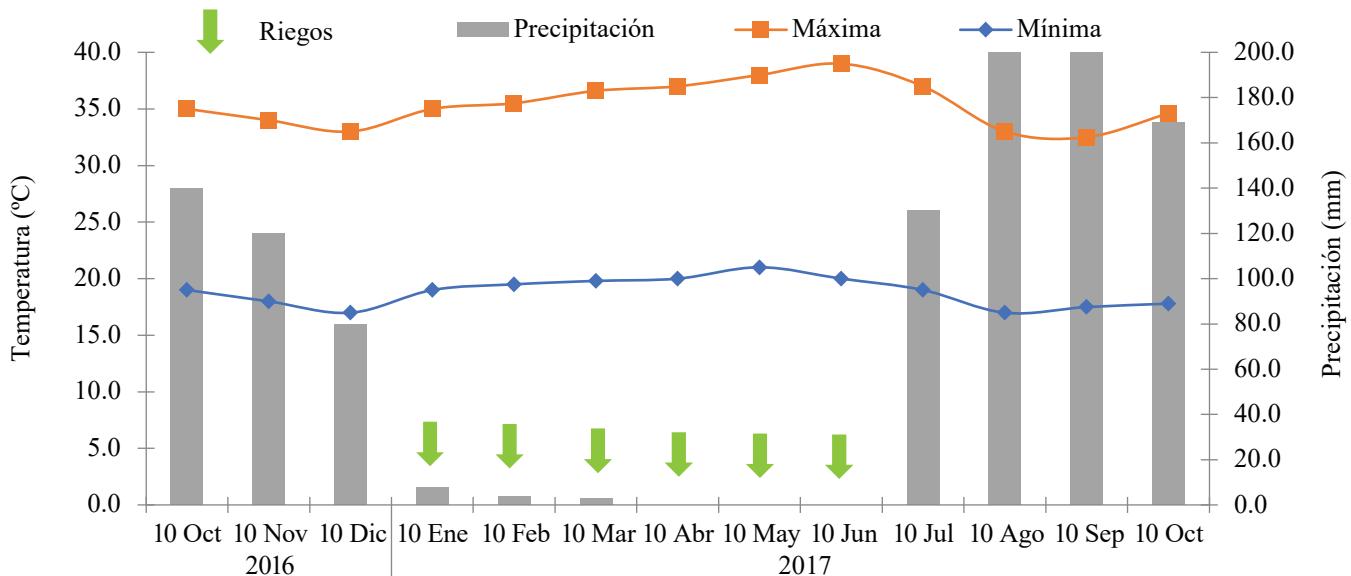


Figura 1. Datos de temperatura máxima, mínima (°C) y precipitación (mm) durante el periodo de estudio.

Antes de iniciar los cortes de evaluación, se realizó un corte de homogenización a una altura de 10 y 15 cm, dependiendo la altura de corte que correspondía a cada parcela.

Variables evaluadas

Dinámica de población de tallos: Para evaluar la variable dinámica de población de tallos, en cada unidad experimental se colocaron dos aros de PVC de 10.4 cm de diámetro, los cuales delimitaban un macollo al inicio del experimento, en cada unidad experimental. Todos los tallos presentes dentro del aro se marcaron con anillos de cable de un mismo color, los que se consideraron como población inicial. Posteriormente, cada semana, durante 8 semanas, los tallos nuevos se marcaron con anillos de color diferente; y se usó un color diferente para cada generación. En el caso de los tallos muertos, estos se contabilizaron y se les retiró el anillo.

Recambio de tejido: El crecimiento total, crecimiento neto y senescencia foliar se evaluaron en un transepto de 2 m de largo, en el cual se seleccionaron al azar 5 tallos de cada planta, los cuales se identificaron con anillos de alambre de diferente color. En los tallos seleccionados se midió: la longitud de lámina foliar, desde la base de la ligula hasta el ápice en hojas verdes o hasta la base del tejido clorótico en hojas senescentes ([Castro et al. 2013](#)).

Relación hoja:tallo: Los datos de la relación hoja:tallo se obtuvieron cortando semanalmente dos cuadros de 50 × 50 cm en cada parcela experimental dejando 10 y 15 cm de área foliar remanente según lo indicado por los

tratamientos; separando en hoja y tallo, y las muestras obtenidas se depositaron en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante, registrando el peso seco de los componentes para estimar la relación hoja:tallo como el cociente entre ambos pesos. Estas determinaciones se hicieron semanalmente, desde los 7 a los 56 días de rebrote, en cada una de las subparcelas.

Peso por tallo: Para determinar el peso por tallo se seleccionaron aleatoriamente 10 tallos de cada parcela, los cuales se cortaron a ras de suelo, se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante y se registró su peso. El valor reportado fue el promedio de los 10 tallos cosechados. El peso promedio por tallo se obtuvo dividiendo, el peso total entre el número de tallos cosechados. Estas determinaciones se hicieron semanalmente, desde los 7 a los 56 días de rebrote, en cada una de las subparcelas.

Rendimiento de materia seca: En cada una de las épocas de muestreo, después del corte de uniformización, desde los 7 hasta los 56 días de rebrote, se cortaron semanalmente dos cuadros de 50 × 50 cm en cada parcela experimental, a 10 y 15 cm del nivel del suelo dependiendo de la intensidad de corte definida por los tratamientos. El forraje cosechado se lavó y secó en una estufa de aire forzado a 55 °C hasta alcanzar peso constante, registrando el peso. Este luego sirvió de base para estimar el rendimiento de materia seca por hectárea.

Análisis bromatológico: Las muestras secas usadas para la determinación de la relación hoja:tallo sirvieron para determinar el contenido de proteína cruda (PC) por el método descrito por la AOAC ([2005](#)) y la fibra detergente

neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) con el método de Van Soest et al. (1991). Todos los análisis de laboratorio se hicieron por triplicado.

Análisis estadístico: Los datos colectados se analizaron mediante un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas sub-subdivididas, con 3 repeticiones. El procedimiento utilizado para el análisis fue PROC GLM de SAS (2011), donde los efectos de frecuencia e intensidad de corte se consideraron como fijos. La comparación múltiple de medias de los tratamientos se realizó mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Resultados

Dinámica de población de tallos

En la Figura 2 se observa la dinámica poblacional de tallos del pasto Mulato II en función de la edad de rebrote, la altura del residuo después del corte y la época

de muestreo. Independientemente de la época del año y altura de corte, entre los 49 y 56 días de rebrote rebrote se registró la mayor densidad de tallos, con un promedio de 360 tallos/m².

El pasto Mulato II en la época de lluvia y con 10 cm de altura presentó la mayor densidad de tallos al final del periodo de 56 días, con 540 tallos/m² ($P<0.05$), mientras que las parcelas con pasto Mulato II con 15 cm de altura y en la época de seca se registró la menor densidad de tallos a lo largo de todas las evaluaciones, con un promedio de 250 tallos/m²; y la tendencia de incremento en el tiempo fue más lenta que para los otros tratamientos ($P<0.05$). Por otro lado, el corte a 15 cm en la época de lluvia y 10 cm en la época de seca resultó en un nivel intermedio, con un promedio de 370 tallos/m², con un aumento de tallos drástico entre los 7 y 28 días, pero luego el aumento fue lento (Figuras 2 a y 2d).

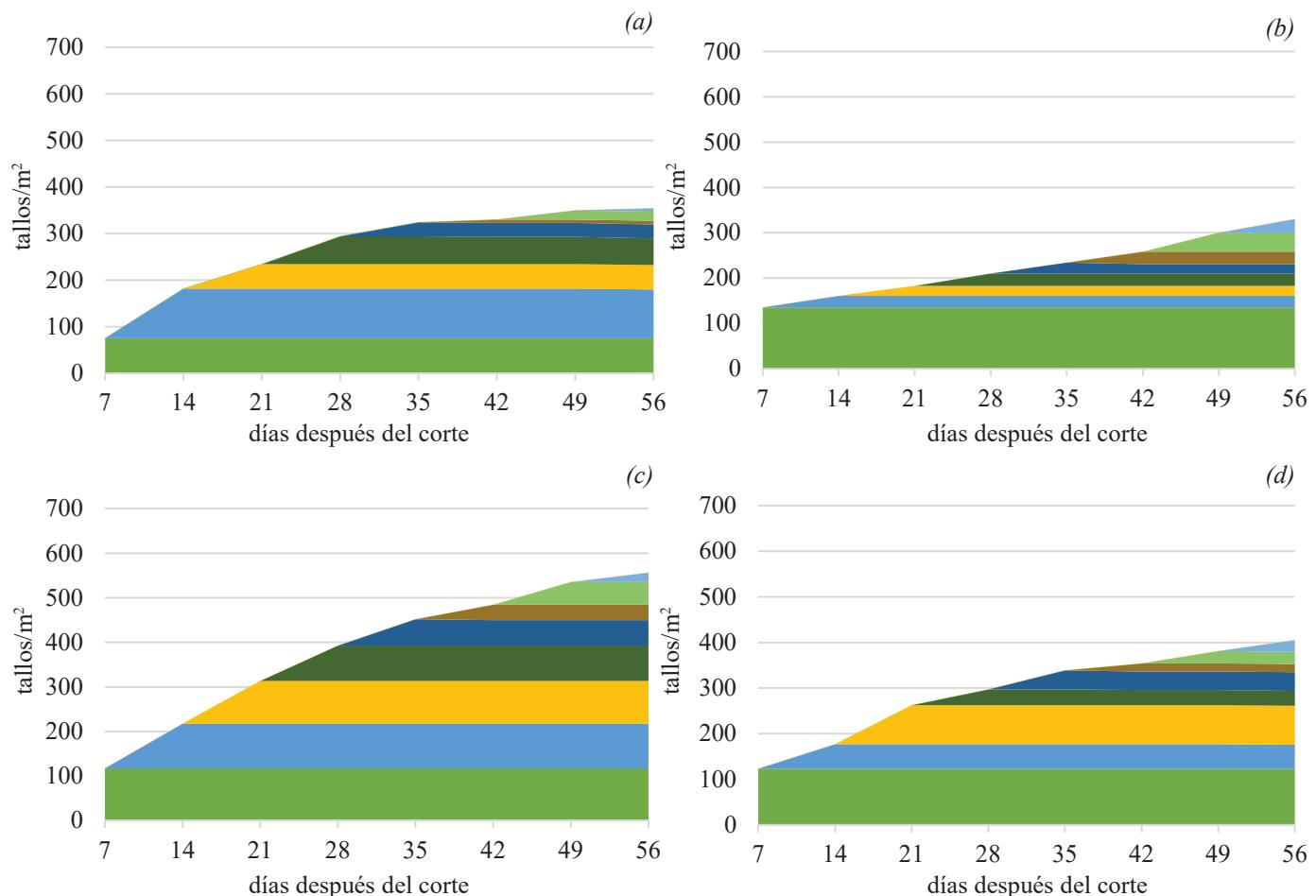


Figura 2. Cambios en la densidad de tallos de pasto Mulato II (*Urochloa* híbrido) en función de la edad de rebrote, altura de residuo post-corte y época del año. (a) 10 cm en periodo seco, (b) 15 cm en periodo seco, (c) 10 cm en periodo de lluvias y (d) 15 cm en periodo de lluvias.

Recambio de tejido

En la Figura 3 se observa la elongación de la hoja, crecimiento neto, senescencia del pasto Mulato II al variar las fechas de corte y altura residual tanto en la época de seca como de lluvias. El crecimiento neto mayor se obtuvo en el día 49 del pasto Mulato II y siguió la siguiente tendencia: 15 cm lluvia > 15 cm seca > 10 cm de lluvia > 10 cm seca con 340, 290, 270 y 240 cm/tallo, respectivamente ($P<0.05$). Las alturas de 15 cm tanto en seca como lluvia y 10 cm en lluvia mostraron un crecimiento rápido de hoja a partir del corte de 14 días hasta los 49 días con un promedio de 195, 172 y 145 cm/tallo, mientras que la elongación de hoja más lenta y menor con 123 cm/tallo con el corte a 10 cm en época seca ($P<0.05$). En lo que respecta a la senescencia, esta se manifestó a partir de los 35 días de rebrote, independientemente de la altura de residuo y época de evaluación; mostrando la mayor senescencia con el corte a 15 cm en la época de lluvia y el menor para 10 cm de

altura en la época de seca, con 13.8 y 9.3 cm/tallo en la última edad de muestreo ($P<0.05$).

Relación hoja:tallo y peso por tallo (g)

La variación en la relación hoja:tallo del pasto Mulato II en función de la altura residual postcosecha, la época de evaluación y edad de rebrote se encuentra en la Figura 4. La relación hoja:tallo fue mayor para las edades de rebrote entre 7 y 21 días, con un promedio de 6.1 ($P<0.05$); luego, esta tendió a disminuir conforme avanzó la edad de rebrote ($P<0.05$), alcanzando el valor más bajo en el último muestreo (63 días). Este comportamiento se observó para todas las combinaciones de altura de corte y época de muestreo.

En cuanto al efecto de la altura de corte sobre la relación hoja:tallo, el mayor valor se presentó con los cortes a 10 cm en las dos épocas del año; mientras que los valores más bajos se presentaron para cortes a 15 cm, independientemente de la época de evaluación

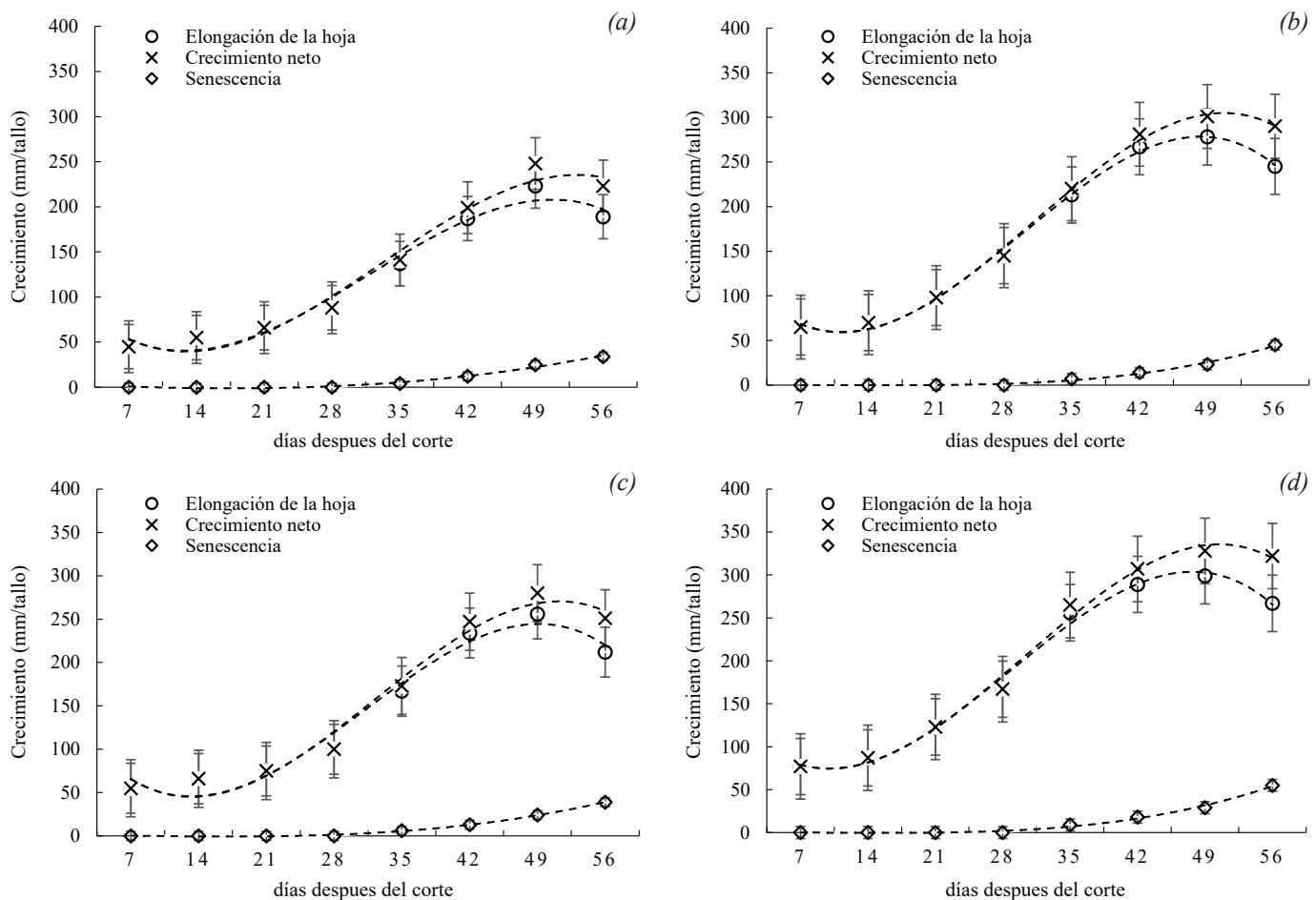


Figura 3. Recambio de tejido del pasto de Mulato II (*Urochloa* híbrido) en función de la edad de rebrote, altura de residuo postcorte y época del año. (a) 10 cm en seca, (b) 15 cm en seca, (c) 10 cm en lluvia y (d) 15 cm en lluvia.

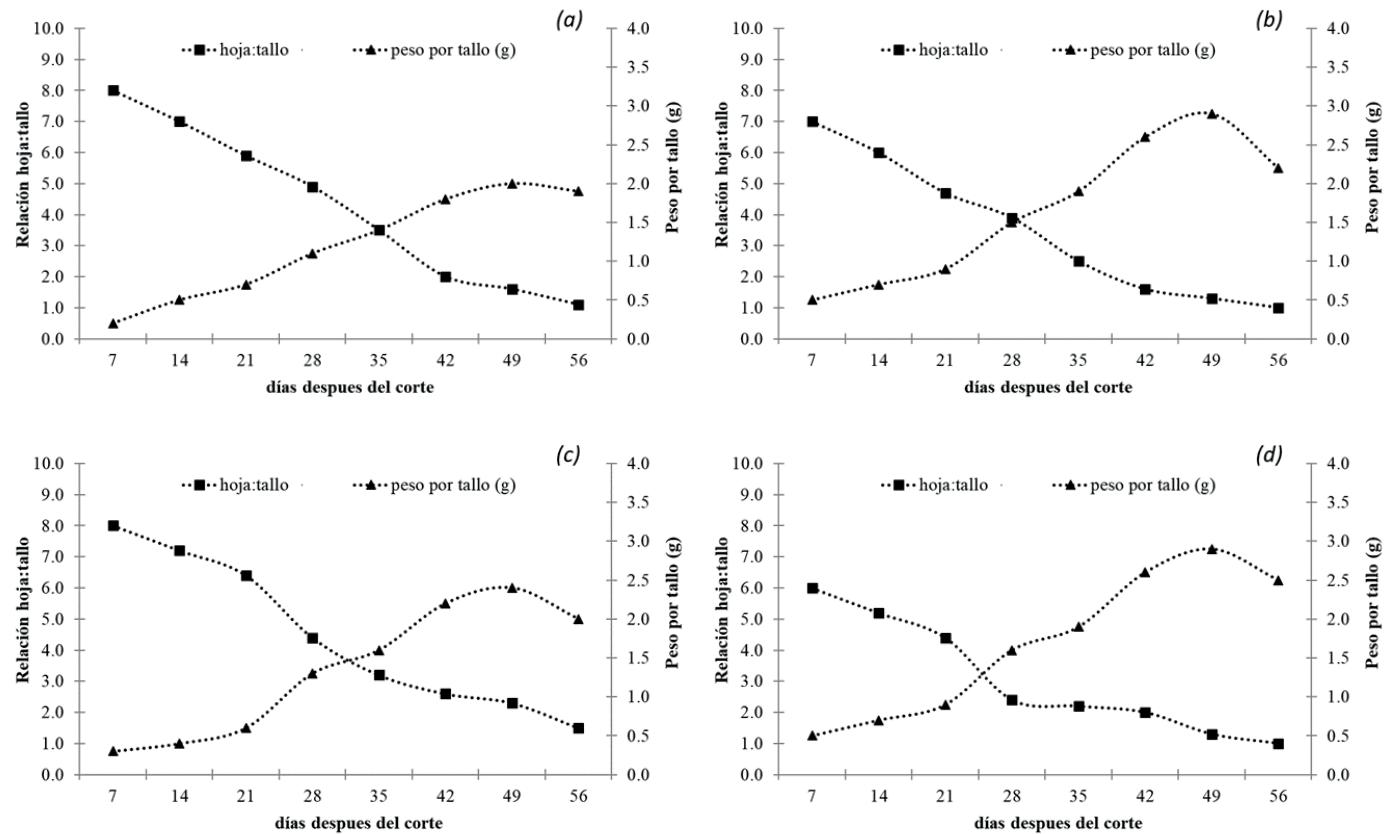


Figura 4. Relación hoja:tallo y peso por tallo (g) del pasto de Mulato II (*Urochloa* híbrido) en función de la edad de rebrote, altura de residuo post-corte y época del año. (a) 10 cm en seca, (b) 15 cm en seca, (c) 10 cm en lluvia y (d) 15 cm en lluvia.

(P<0.05). Por otro lado, el peso de los tallos aumentó con la edad de rebrote hasta los 49 días posteriores a la cosecha, y a partir de ahí tendió a declinar (P<0.05), independientemente de la altura de corte y época del año (Figura 4).

Rendimiento de materia seca

El rendimiento de materia seca del pasto Mulato II fue mayor en cortes durante la época de lluvias y cuando la altura remanente después de la cosecha fue de 15 cm (P<0.05; Cuadro 1). Los rendimientos más altos se consiguieron a los 49 días de rebrote en la época de lluvias (1,800 kg MS/ha) y a los 63 días en la época seca (1,560 kg MS/ha).

Composición química

El contenido de proteína cruda (PC) en hojas y tallos de pasto Mulato II tendió a disminuir conforme aumentó la edad de rebrote, en ambas épocas del año (P<0.05; Cuadro 1). Por otra parte, el mayor contenido de PC se obtuvo en el componente hoja, independientemente

de la época y altura de residuo post-cosecha (P<0.05). En contraste, los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) tendieron a aumentar a medida que avanzó la edad de rebrote, observándose valores ligeramente más altos de FDN en la época seca que en la de lluvias. En cambio, no fue evidente una tendencia similar para el caso de la FDA.

Discusión

Dinámica de población de tallos

En las etapas iniciales de rebrote (días 7 al 21) se presentó la menor densidad de tallos, independientemente de la altura de corte y época, lo cual es esperado pues el rebrote es producto de las reservas orgánicas, área foliar remanente y el número de yemas vegetativas iniciadas que quedan después del corte, y de la actividad fotosintética de las nuevas hojas que se forman en el proceso de rebrote (Li et al. 2016; Wang et al. 2017; Rojas et al. 2018; Rueda et al. 2018). A medida progresó el rebrote hay una mayor acumulación de tejido verde, peso por tallo y, por lo tanto, un mayor rendimiento

Cuadro 1. Efecto de la edad de corte y altura de pasto Mulato II (*Urochloa* híbrido) sobre el rendimiento (kg MS/ha), y los contenidos (%) de proteína cruda, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido en época de seca y lluvia.

Componente	AR	Días de corte en seca					Días de corte en lluvia				
		7	21	35	49	63	7	21	35	49	63
Rendimiento (kg MS/ha)											
Total	10	200eB	600dB	1,220cB	1,350bB	1,550aA	300dA	730cB	1,350bB	1,750aB	1,740aB
Total	15	230dA	790cA	1,300bA	1,500aA	1,560aA	210dB	790cA	1,400bA	1,800aA	1,790aA
Proteína cruda (%)											
Hoja	10	19.48aA	20.26aA	16.77bA	10.97cA	7.73dA	20.18aA	21.16aA	17.17bA	11.43cA	8.13dA
Hoja	15	19.78aA	21.00aA	17.12bA	11.21cA	8.10dA	20.28aA	20.90aA	18.14bA	12.52cA	9.50dA
Tallo	10	--	12.21aB	10.68bB	7.24cB	5.55dB	--	13.29aB	11.74bB	8.74cB	5.99dB
Tallo	15	--	13.01aB	11.23bB	7.98cB	6.32dB	--	14.05aB	12.25bB	8.18cB	7.42dB
Fibra detergente neutro (%)											
Hoja	10	57.01bA	60.59abB	54.41cB	62.11abB	66.71aB	58.00bA	61.50abB	55.43cB	63.51abB	67.09aB
Hoja	15	58.09bA	60.00abB	55.23cB	63.22bB	65.32aB	57.79bA	61.23abB	56.13cB	64.00bB	66.43aB
Tallo	10	--	67.77bA	69.80bA	71.59abA	75.94aA	--	69.70bA	70.89bA	71.99abA	76.56aA
Tallo	15	--	68.87cA	70.45bA	72.34abA	76.23aA	--	69.17cA	70.15bA	72.04abA	77.03aA
Fibra detergente ácido (%)											
Hoja	10	24.44cB	29.00bB	25.38cB	28.26bB	30.69aB	23.04cB	28.23bB	24.18cB	27.19bB	29.33aB
Hoja	15	25.24bA	30.12aB	26.32bB	29.26abB	31.02aB	24.20bA	29.34aB	25.39bB	28.96abB	30.54aB
Tallo	10	--	35.29bA	34.25bA	35.00bA	37.79aA	--	34.09bA	33.09bA	34.12bA	36.76aA
Tallo	15	--	36.01bA	35.12cA	35.78cA	38.98aA	--	35.11bA	34.19cA	34.21cA	37.34aA

abc= Valores medios con distinta literal en la misma hilera dentro del efecto principal son diferentes ($P \leq 0.05$); ABC= Valores medios con distinta literal en la misma columna dentro del efecto principal son diferentes ($P \leq 0.05$); AR=Altura Remanente.

de biomasa ([Ramírez et al. 2011](#); [Rueda et al. 2020](#)). Cabe anotar que las plantas no rebrotan en una pradera como individuos aislados, sino como una población usualmente densa, donde la vegetación que los rodea ejerce una influencia muy fuerte sobre las características inherentes de cada especie, por medio de la competencia ([Matthew et al. 1996](#)).

En un estudio similar realizado en el trópico seco de México con 3 variedades de *Urochloa* (Mulato II, Convert 330 y Convert 431), [Aniano-Aguirre et al. \(2022\)](#) obtuvieron una densidad de 410 tallos/m², valor similar al obtenido en este estudio con el híbrido Mulato II. Por su parte, en otro estudio realizado por [Lucio-Ruiz et al. \(2023\)](#) en condiciones semiáridas de Tamaulipas (México) se encontraron valores bastante más altos para la densidad de tallos en Mulato II y otros cultivares de *Urochloa*, lo cual se ha atribuido a las condiciones de buena disponibilidad de humedad que se observó a lo largo de ese ensayo.

En cambio, [Rodolfo et al. \(2015\)](#) observaron 293 tallos/m² en las etapas iniciales de rebrote de pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach), el cual se elevó hasta 420 tallos/m² en el estadio intermedio, para

luego declinar hasta 331 tallos/m², en etapas tardías de crecimiento. [Ramírez et al. \(2020\)](#) reportaron para el pasto llanero (*Andropogon gayanus* Kunt) un promedio de 350 tallos/m² para varias etapas de la curva de crecimiento, cuyos resultados fueron parecidos a los de este ensayo. Por otra parte, [Maldonado et al. \(2019\)](#) trabajando con pasto Cuba 22 en el trópico seco de México, obtuvieron un promedio de 76 tallos/m²; lo cual en alguna medida se atribuye a la relación inversa entre altura de planta y densidad de tallos, pues el pasto Cuba 22 tiene una altura de 3 m en promedio.

Recambio de tejido

El mayor crecimiento neto en las etapas iniciales y medias del rebrote se relaciona con una promoción de la división y el alargamiento celular ([Taiz y Zeiger, 2002](#); [Wilson et al. 2008](#)); pero, en las etapas tardías aumentan las pérdidas por senescencia ([Cámar-Acosta et al. 2022](#); [Lucio-Ruiz et al. 2023](#)) y, por tanto, se reduce la acumulación neta de forraje, tal como se observó en esta investigación. Por su parte, [Rojas et al. \(2018\)](#) trabajando con Mulato II en condiciones similares a las

de este estudio, y Maldonado et al. (2019) con *Cenchrus purpureus* en el trópico húmedo de México, encontraron que el máximo crecimiento de hojas ocurría entre los 42 y 49 días de rebrote, para luego disminuir debido al aumento progresivo de tallos y material senescente.

Relación hoja:tallo

La relación hoja:tallo es un atributo característico de las especies y cultivares, pero el mismo cambia en función de la edad de rebrote y las condiciones ambientales (Velasco et al. 2005). Zaragoza et al. (2009) consignan que la relación hoja:tallo de 2.5 a la primera semana de rebrote para una gramínea de zona templada como el *Dactylis glomerata*, y Pérez et al. (2002) reportaron valores promedios entre 1.1 y 1.4 en *Lolium perenne* cosechado con una intensidad de 3 y 15 cm de follaje residual. En cambio, Aniano-Aguirre et al. (2022) en pastos de *Urochloa* reportan valores similares a los encontrados en este estudio, con un valor máximo para la relación hoja:tallo de 5.3 a los 7 días y un mínimo de 1.9 a los 56 días de rebrote.

Peso por tallo

El peso por tallo no mostró diferencias debidas a la época de muestreo, pero sí fue afectado por la altura del residuo postcosecha. En otros estudios se ha visto que el peso de los tallos se incrementa a mayor temperatura ambiente (Castro et al. 2013) y que el descenso de la temperatura inhibe el crecimiento de los tallos (Matthew et al. 2001); pero, en esta investigación la temperatura no mostró cambios mayores debidos a la época de seca y lluvia, por lo que las diferencias en peso de tallos fueron más producto de la altura de residuo.

Los resultados del presente estudio confirman lo que se ha reportado previamente en otras investigaciones con diferentes cultivares de *Urochloa* (Aniano-Aguirre et al. 2022), que el peso de los tallos está en función de la edad y la población de tallos en el momento de muestreo, pues el aumento en la densidad de tallos por unidad de área ocasiona una disminución en el peso individual de los mismos, efecto que es explicado por la ley de “auto aclareo” que ha sido confirmada por otros investigadores (Hernández-Garay et al. 1997; Hernández et al. 2012; Rojas et al. 2017a; Rojas et al. 2017b). Esto tiene implicaciones importantes en cuanto al rendimiento, pues Velasco et al. (2001) reportaron que existía una estrecha correlación entre el rendimiento total y el peso por tallo.

Composición química de los forrajes

Los valores de PC, FDN y FDA y el efecto de edad sobre ellos encontrado en el presente estudio no difieren de lo obtenido por otros investigadores al evaluar diferentes pastos tropicales (Cruz et al. 2011; Cruz et al. 2017a; Cruz et al. 2017b; Rojas et al. 2018). En el caso de pasto Mulato II, Castro-Salas (2014) encontró valores de PC en hojas de 17.4 y 11.8 % a los 7 y 49 días de rebrote, respectivamente, con una disminución de 5.6 puntos porcentuales; en cambio, en este estudio la disminución en el mismo período fue de 8.91 unidades porcentuales.

Conclusión

La edad y altura remanente después del corte afectan la dinámica del rebrote en pasto Mulato II, lo cual se expresa en diferencias en la población de tallos, el crecimiento neto y la relación hoja:tallo entre otros atributos; así mismo se afecta la composición química del forraje producido. Con base en los resultados de estudio se recomienda que, bajo condiciones del trópico seco de México, el pasto Mulato II se debe cortar o pastorear cada 35 a 42 días, dejando 15 cm de altura residual.

Agradecimientos

Los autores reconocen el aporte de los técnicos Humberto Díaz y Ciro Mora del Instituto de Ciencia Animal de Cuba en la obtención de los resultados del presente estudio.

Referencias

- (Nota de los editores: Enlaces verificados el 12 de enero de 2024).
- Aniano-Aguirre H; Maldonado-Peralta MA; Gasga-Pérez L; Pelaez-Estrada UV; Hernández-Marín JA; Rojas-García AR. 2022. Características estructurales de pastos: Mulato II, Convert 330 y Convert 431 (*Urochloa* híbrido). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 13(5):863–872. doi: [10.29312/remexca.v13i5.3230](https://doi.org/10.29312/remexca.v13i5.3230)
 - AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 18th Edn. Association of Official Analytical Chemists. Washington, USA.
 - Beltrán LS; Hernández GA; García EM; Pérez PJ; Kohashi JS; Herrera HJ; Quero CAR; González MSS. 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. Agrociencia 39:137–147. [bit.ly/3O6D1vn](https://doi.org/10.1344/agrociencia2005_39_137)
 - Cámará-Acosta J; Enríquez-Quiroz JF; Rueda-Barrientos JA; Ortega-Jiménez E; Ramírez-Bribiesca JE; Guerrero-

- Rodríguez JD. 2022. Dinámica de tallos del pasto *Urochloa* híbrido cv Cobra en respuesta al tiempo de corte. Revista Fitotecnia Mexicana 53(3):303–311. doi: [10.35196/rfm.2022.3.303](https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.303)
- Castro-Salas JM. 2014. Introducción de genotipos forrajeros en el sur del estado de México: análisis de crecimiento, composición química y valor nutritivo. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México. hdl.handle.net/20.500.11799/58876
- Castro R; Hernández A; Ramírez O; Aguilar G; Enríquez JF; Mendoza SI. 2013. Crecimiento en longitud foliar y dinámica de población de tallos de cinco asociaciones de gramíneas y leguminosas bajo pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 4(2): 201–215. bit.ly/4aZlrtW
- Conagua (Comisión Nacional del Agua). 2017. Estacion 12208, Cuajinicuilapa, Estado Guerrero. bit.ly/3TWt7XG
- Cruz A; Hernández A; Aranda EM; Chay AJ; Márquez C; Rojas AR; Gómez A. 2017a. Nutritive value of Mulato grass under different grazing strategies. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 4(10):65–72. doi: [10.19136/era.a4n10.883](https://doi.org/10.19136/era.a4n10.883)
- Cruz A; Hernández A; Chay AJ; Mendoza SI; Ramirez S; Rojas AR; Ventura J. 2017b. Componentes del rendimiento y valor nutritivo de *Brachiaria humidicola* cv Chetumal a diferentes estrategias de pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8(3):599–610. doi: [10.29312/remexca.v8i3.34](https://doi.org/10.29312/remexca.v8i3.34)
- Cruz A; Hernández A; Enríquez JF; Gómez A; Ortega E; Maldonado NM. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 2(4):429–443. bit.ly/3HI8Tif
- Da Silva SC; Sbrissia AF; Pereira LE. 2015. Ecophysiology of C₄ forage grasses—understanding plant growth for optimising their use and management. Agriculture 5(3):598–625. doi: [10.3390/agriculture5030598](https://doi.org/10.3390/agriculture5030598)
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. bit.ly/47DPzbl
- Hernández A; Martínez PA; Zaragoza JL; Vaquera H; Osnaya F; Joaquín BM; Velasco ME. 2012. Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad de pastoreo. Revista Fitotecnia Mexicana 35(3):259–266. doi: [10.35196/rfm.2012.3.259](https://doi.org/10.35196/rfm.2012.3.259)
- Hernández A; Matthew C; Hodgson J. 1997. Effect of spring grazing management on perennial ryegrass/white clover pastures. 2. Tiller and growing point densities and population dynamics. New Zealand Journal of Agricultural Research 40(1):37–50. doi: [10.1080/00288233.1997.9513228](https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513228)
- Lara PE; Canché MC; Magaña H; Aguilar E; Sanginés JR. 2009. Producción de gas *in vitro* y cinética de degradación de harina de forraje de morera (*Morus alba*) mezclada con maíz. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 43(3):273–279. redalyc.org/articulo.oa?id=193015481010
- Li X; Liu Z; Ren W; Ding Y; Ji L; Guo F; Hou X. 2016. Linking nutrient strategies with plant size along a grazing gradient: evidence from *Leymus chinensis* in a natural pasture. Journal of Integrative Agriculture 15(5):1132–1144. doi: [10.1016/S2095-3119\(15\)61171-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61171-6)
- Lucio-Ruiz F; Joaquín-Cancino S; Garay-Martínez JR; Bautista-Martínez Y; Estrada-Drouaillet B; Limas-Martínez AG. 2023. Dinámica de tallos e índice de estabilidad en cinco cultivares de *Urochloa* en condiciones semiáridas. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 11(1):1–10. doi: [10.17138/TGFT\(11\)1-10](https://doi.org/10.17138/TGFT(11)1-10)
- Maldonado-Peralta MA; Rojas-García AR; Sánchez-Santillán P; Bottini-Luzardo MB; Torres-Salado N; Ventura-Ríos J; Joaquín-Cancino S; Luna-Guerrero MJ. 2019. Análisis de crecimiento del pasto Cuba OM-22 (*Pennisetum purpureum* × *Pennisetum glaucum*) en el trópico seco. Agroproductividad 12(8):17–22. doi: [10.32854/agrop.v0i0.1445](https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1445)
- Matthew C; Hernández-Garay A; Hodgson J. 1996. Making sense of the link between tiller density and pasture production. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 57:83–87. doi: [10.33584/jnzb.1995.57.2190](https://doi.org/10.33584/jnzb.1995.57.2190)
- Matthew C; Val Loo EN; Tom ER; Dawson LA; Care DA. 2001. Understanding shoot and root development. Proceedings of the XIX International Grassland Congress, São Paulo, Brasil. uknowledge.uky.edu/igc/19/1/36
- Pérez MT; Hernández A; Pérez J; Herrera JG; Bárcena R. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del pasto ballico perenne a diferentes alturas de corte. Técnica Pecuaria México 40(3):251–263. bit.ly/47EG1N0
- Pinto R; Gómez H; Martínez B; Hernández A; Medina FJ; Gutiérrez R; Escobar E. 2005. Árboles y arbustos forrajeros del Sur de México. Pastos y Forrajes 28(2):87–97. bit.ly/3O52tla
- Ramírez O; Flores I; Hernández E; Rojas AR; Maldonado MA; Valenzuela JL. 2020. Dinámica poblacional de tallos e índice de estabilidad del pasto llanero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 24:23–34. doi: [10.29312/remexca.v0i24.2355](https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2355)
- Ramírez O; Silva SC da; Hernández A; Enríquez JF; Pérez J; Quero AR; Herrera JG. 2011. Rebrote y estabilidad de la población de tallos en el pasto *Panicum maximum* CV. ‘Mombaza’ cosechado en diferentes intervalos de corte. Revista Fitotecnia Mexicana 34(3):213–220. bit.ly/3vG1FDC
- Rodolfo GR; Schmitt D; Dias KM; Sbrissia AF. 2015. Levels of defoliation and regrowth dynamics in elephant grass swards. Ciência Rural 45(7):1299–1304. doi: [10.1590/0103-8478cr20141094](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141094)

- Rojas AR; Torres N; Maldonado MA; Sánchez P; García A; Mendoza SI; Álvarez P; Herrera J; Hernández A. 2018. Curva de crecimiento y calidad de pasto cobra (*Brachiaria* híbrido BR02/1794) a dos intensidades de corte. Agroproductividad 11(5):34–38. bit.ly/3HmCPey
- Rojas AR; Ventura J; Hernández A; Joaquín S; Maldonado MA; Reyes I. 2017a. Dinámica poblacional de tallos de ovillo (*Dactylis glomerata* L.) solo y asociado con ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 8(4):419–428. doi: [10.22319/rmcp.v8i4.4646](https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4646)
- Rojas AR; Hernández A; Rivas MA; Mendoza SI; Maldonado MA; Joaquín S. 2017b. Dinámica poblacional de tallos de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) y ballico perenne (*Lolium perenne* L.) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Revista Facultad de Ciencias Agrarias 49(2):35–49. bit.ly/48W3ham
- Rueda JA; Guerrero-Rodríguez JD; Ramírez-Ordoñes S; Aguilar-Martínez CU; Hernández-Montiel W; Ortega-Jiménez E. 2020. Morphological composition and fiber partitioning along regrowth in elephant grass CT115 intended for ethanol production. Nature 10:15118. doi: [10.1038/s41598-020-72169-2](https://doi.org/10.1038/s41598-020-72169-2)
- Rueda JA; Ortega-Jiménez E; Enríquez-Quiroz JF; Palacios-Torres RE; Ramírez-Ordoñes S. 2018. Tiller population dynamics in eight cultivars of elephant grass during undisturbed growth. African Journal of Range & Forage Science 35(2):109–119. doi: [10.2989/10220119.2018.1477832](https://doi.org/10.2989/10220119.2018.1477832)
- SAS. 2011. The SAS 9.2 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. USA.
- Taiz L; Zeiger E. 2002. Plant Physiology, 3rd Ed. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts, USA.
- Van Soest PJ; Robertson JB; Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74:3583–3597. doi: [10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Velasco ME; Hernández A; González VA. 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. Técnica Pecuaria en México 43(2):247–258. bit.ly/3UfJXRD
- Velasco ME; Hernández A; González VA; Pérez J; Vaquera H; Galvis A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación de estacional del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México 39(1):1–14. redalyc.org/articulo.oa?id=61339101
- Wang D; Du J; Zhang B; Ba L; Hodgkinson KC. 2017. Grazing intensity and phenotypic plasticity in the clonal grass *Leymus chinensis*. Rangeland Ecology & Management 70(6):740–747. doi: [10.1016/j.rama.2017.06.011](https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.06.011)
- Wilson CY; Zavaleta HA; López H; Hernández A. 2008. La citoquinina BAP retrasa la senescencia, aumenta antioxidantes, proteína y crecimiento en el pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Agrociencia 42:799–806. bit.ly/4aXeysU
- Zaragoza J; Hernández A; Pérez J; Herrera JG; Osnaya F; Martínez PA; González SS; Quero AR. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. Técnica Pecuaria en México 47(2):173–188. bit.ly/3O6GFfA
- Zhang JM; Hongo A; Akimoto M. 2004. Physical strength and its relation to leaf anatomical characteristics of nine forage grasses. Australian Journal of Botany 52(6):799–804. doi: <https://doi.org/10.1071/BT03049>

(Recibido para publicación 19 junio 2023; aceptado 2 enero 2024; publicado 31 enero 2024)

© 2024



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales una revista de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, en asociación con el *Instituto de Recursos Genéticos de Cultivos Tropicales de la Academia China de Ciencias Agrícolas Tropicales (TCGRI-CATAS)*. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Research Paper

Mimosine concentration in giant leucaena (*Leucaena leucocephala* subsp. *glabrata*) fluctuates with age and plant part

La concentración de mimosina en la leucaena gigante (Leucaena leucocephala subsp. glabrata) fluctúa con la edad y la parte de la planta

MICHAEL HONDA AND DULAL BORTHAKUR

Department of Molecular Biosciences and Bioengineering, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, HI, USA. cms.ctahr.hawaii.edu

Abstract

Giant leucaena is a multipurpose tree-legume found throughout the tropics and sub-tropics. Its foliage is used as animal fodder due to high protein and fiber. Giant leucaena has several other advantageous traits such as fast-growth, high yields and strong tolerance to environmental stresses. Despite having these desirable qualities, leucaena tissues contain an undesirable attribute, a toxic non-protein amino acid, mimosine, found in all parts of the plant including the foliage. The goal of this research was to determine mimosine concentrations in various tissues and life stages of giant leucaena plants to inform use of leucaena foliage as a fodder. Mimosine was extracted from different parts of giant leucaena at different ages and quantified using HPLC analysis. qRT-PCR was used to determine the relative expression of mimosine synthase in leucaena tissues. Mimosine was present in all parts of the leaf, stem and root of giant leucaena, and concentrations changed depending on the age of the plant. Green seeds had the highest expression level of mimosine synthase. Mimosine is ubiquitous and abundant in leucaena tissues with younger and immature plants and tissues containing more mimosine than older mature plants and tissues.

Keywords: Fodder, mimosine synthase, non-protein amino acid, secondary metabolites, tree-legume.

Resumen

La leucaena gigante es una leguminosa multipropósito que se encuentra en los trópicos y subtrópicos. Su follaje se utiliza como forraje para animales debido a su alto contenido de proteínas y fibra. La leucaena gigante presenta otras características ventajosas, como un rápido crecimiento, altos rendimientos y una fuerte tolerancia a las tensiones ambientales. A pesar de tener estas cualidades deseables, los tejidos de la leucaena contienen un atributo indeseable, un aminoácido no proteico tóxico llamado mimosina, presente en todas las partes de la planta, incluido el follaje. El objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones de mimosina en diferentes tejidos y etapas de vida de las plantas de leucaena gigante para el uso informado del follaje de leucaena como forraje. La mimosina se extrajo de diferentes partes de la leucaena gigante en diferentes edades y se cuantificó mediante análisis de HPLC. Se utilizó qRT-PCR para determinar la expresión relativa de la mimosina sintasa en los tejidos de leucaena. La mimosina estaba presente en todas las partes de la hoja, tallo y raíz de la leucaena gigante, y las concentraciones variaban según la edad de la planta. Las semillas verdes tuvieron el nivel más alto de mimosina sintasa. La mimosina está presente en forma abundante en todos los tejidos de leucaena, pero los mayores contenidos de mimosina se presentan en las plantas y tejidos más jóvenes que en las plantas y tejidos más maduros.

Palabras clave: Forraje, mimosina sintasa, aminoácido no proteico, metabolitos secundarios, leguminosa.

Correspondence: D Borthakur, Department of Molecular Biosciences and Bioengineering, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, USA. Email: dulal@hawaii.edu

Introduction

The tree-legume giant leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit subsp. *glabrata* (Rose) Zárate) is a widely used animal fodder in the tropics and sub-tropics due to its fast growth, high forage yield and favorable nutritional characteristics, including high amounts of protein and fiber (Shelton and Brewbaker 1994; Brewbaker 2016). Although it grows normally as a medium-sized tree, it can be maintained as a bushy shrub by repeatedly harvesting its foliage several times a year (Honda et al. 2022). When grown for fodder under favorable conditions, giant leucaena can produce as much as 80–99 t green forage/ha/yr, which is equivalent to 24–30 t dry matter (DM)/ha/yr (Shelton and Brewbaker 1994).

Giant leucaena is considered to be an ideal fodder legume for the tropics because (i) it is able to grow in dry areas, marginal lands, and places with eroded slopes on fertile soils; (ii) it has a deep root system and is tolerant to drought and can be grown as a rain-fed fodder with little or no irrigation; (iii) as a perennial fodder, it does not require repeated planting each season and can be maintained with relatively minimal efforts and resources; (iv) it is a nitrogen-fixing tree legume that fixes high amounts of N (196–268 kg N/ha) in nodule-forming symbiosis with *Rhizobium* (Sangina et al. 1989) (v) it is naturally resistant to infection by microbial pathogens and insect pests (Bageel et al. 2020); and (vi) it has tolerance to environmental stresses such as acidic and alkaline soils, drought, salinity, eroded slopes, and UV light (Bageel et al. 2020; Honda et al. 2018; Ishihara et al. 2018; Rodrigues Correa et al. 2019). However, despite these beneficial attributes, giant leucaena contains large amounts of an undesirable compound, mimosine, a non-protein aromatic amino acid found in all parts of the plant (Honda and Borthakur 2021). Its concentration in the foliage can be 2–5% of the plant dry weight (DW) (Soedarlo and Borthakur 1996). Some studies have shown that its concentrations can be as high as 12–20% DW in the growing shoot tips (Honda and Borthakur 2019). The toxicity of mimosine stems from its ability to bind metallic cations like iron, copper and zinc, and pyridoxal 5'-phosphate (PLP). Iron, copper, zinc and PLP are important enzyme cofactors in folate, nucleic acid, chlorophyll and amino acid synthesis and metabolism (Negi et al. 2014). Some enzymes inhibited by mimosine include tyrosinase, tyrosine decarboxylase,

DOPA decarboxylase, RNA reductase, cystathionine synthase, cystathionase, and Asp-Glu transaminase (Negi et al. 2013; 2014). The side-effects of consuming large amounts of mimosine include fetal defects, infertility, goiter, thyroid problems and hair loss (Crounse et al. 1962; Hamilton et al. 1968; Dewreede and Wayman 1970). Two enzymes that degrade mimosine effectively are mimosinase, which is found in leucaena foliage, and rhizomimosinase, which is produced in *Rhizobium* strains that form nitrogen-fixing root nodules on leucaena. Both enzymes are C-N lyases that degrade mimosine into pyruvate, ammonia and 3-hydroxy-4-pyridone (3H4P) (Negi et al. 2013; 2014). Exposure to the degradation product 3H4P, its tautomer 3,4-dihydroxypyridine, and its isomer 2,3-dihydroxypyridine (2,3DHP) can also cause toxic side-effects, which include goiter, dermal, kidney and liver problems (Hegarty et al. 1979; Jones 1979; Jones and Hegarty 1984). Despite the presence of mimosine, giant leucaena fodder is considered a good protein supplement to low quality forages and has been shown to improve animal performance, fermentation and digestibility efficiency, and dietary intake (Orden et al. 2000; Khy et al. 2012). However, because of the toxic effects of mimosine, giant leucaena fodder is generally fed to animals as a protein supplement along with grass or hay at 20–30% of total diet (Jones and Hegarty 1984). Cattle and goats can tolerate leucaena foliage containing up to 0.18 g of mimosine/kg body weight without showing any harmful side effects (Bageel and Borthakur 2022). Similarly, sheep can tolerate leucaena foliage equivalent to 0.14 g of mimosine/kg body weight (Sethi and Kulkarni 1995). Recently, studies have reported that animal diets comprised of 100% leucaena did not cause long-term toxicity problems (Dahlanuddin et al. 2019; Ruiz et al. 2019).

Leucaena invests a large amount of energy and resources into mimosine synthesis. Negi et al. (2014) predicted that leucaena plants would have grown 20% larger if the same amount of energy and resources were diverted to plant growth and development. Mimosine is abundant and ubiquitous in giant leucaena and because of the importance of giant leucaena as an animal fodder, it is important to study the fluctuations of mimosine within giant leucaena based on age and tissue type. The goal of the present study was to determine how mimosine concentrations of giant leucaena change in different stages of growth and tissue types.

Materials and Methods

Germination and growth of giant leucaena seedlings

Mature seeds of giant leucaena cultivar 'K636' (K636) were collected from the University of Hawaii Waimanalo Research Station, Waimanalo, Hawaii. Seeds were scarified with concentrated sulfuric acid at room temperature for 25 min. After scarification, seeds were rinsed with sterile deionized water 5 times and placed in either petri dishes containing filter paper and water or 50.8 cm x 25.4 cm plastic trays containing a vermiculite-soil mixture. The seeds placed in vermiculite-soil were allowed to germinate and then grown in a plant growth chamber at $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ with a 16/8 h light/dark photoperiod and an irradiance of 100 $\mu\text{mol}/\text{s}/\text{m}$, and an average humidity between 60–65%. Plants were watered twice a week throughout the experiment until harvesting. Seeds germinated in petri dishes were incubated in the dark at 28°C and filter paper and water were replaced daily until harvesting. Plants used in this study were grown in pots in a growth chamber and organized in a completely randomized block design with 4 to 6 replications. The actual mimosine concentration of plants grown in a growth chamber are expected to be different from plants grown in the field. However, fluctuations in the mimosine concentration based on life stage are expected to be similar.

Mimosine extraction and quantification

Mimosine was extracted from different parts of giant leucaena by submerging 1 g of plant material in 30 mL of 0.1 N HCl and shaking overnight at room temperature. After incubation, acid extracts were centrifuged for 15 min at 16,000 x g to pellet and remove plant debris. The mimosine concentration of the leaf acid extracts were assayed by HPLC using a Waters 2695 separations module (Waters, Millford MA, USA) a Phenomenex C18 column (Phenomenex, Torrance, CA, USA) (5 μ ; 4.6 x 250 mm), and a UV detection photodiode array. An isocratic carrier solvent of 0.02 M o-phosphoric acid at a linear flow rate of 1 mL/min was used to analyze mimosine in acid extracts. For quantitative determination of mimosine, commercial mimosine (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) was prepared in various concentrations and then quantified by HPLC following the methods described above. The areas under the curves for mimosine peaks were used to plot a standard curve, which was then used to quantify mimosine in acid extracts. Remaining plant

material was rinsed and dried overnight at 65°C and then weighed. The mimosine concentration was expressed as % of plant DW. Mimosine concentrations determined on the basis of plant DW were normalized to factor in the loss of dry matter during mimosine extraction with 0.1 N HCl.

Mimosine concentration of germinating giant leucaena seeds and mimosine secretion by germinating seeds

Seed coats were removed from mature seeds (< 6 h after scarification) and fresh green seeds (< 6 h after removal from trees) and mimosine extracted and quantified from seed coats and cotyledons separately following the methods described above. In another experiment, mimosine was extracted and determined as a percentage of the plant DW from giant leucaena mature seeds 0, 2, 4, 6, 8, and 10 d after initial scarification. At 0 d after scarification (< 6 h), mature seeds had minor swelling. At 2 d after scarification, seeds were fully swollen and considerably larger. At 4 d after scarification, the initial radicle tip could be observed from seeds. At 6 and 8 d after scarification, seeds had long and very long radicles, respectively. At 10 d after scarification, shoots could be observed growing from seeds. During these stages of germination, the seed growth medium was collected every 24 h. The amount of mimosine secreted was calculated as a percentage of mature seed DW following the methods described above. Each sample set contained at least 4 replications.

Mimosine concentration of giant leucaena during growth stages of seedlings

Mimosine was extracted and determined as a percentage of plant DW from giant leucaena seedlings at 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, and 28 weeks after germination. Each sample set contained at least 6 replicates.

Mimosine concentration in leaves, stem, root, and embryonic leaves of giant leucaena seedlings

Giant leucaena seedlings were grown and then harvested at 2, 4, 8, and 12 weeks of age. A whole seedling was divided into 4 major parts as leaf, stem, root and embryonic leaf. These main parts of the leucaena seedling were separated, grouped by part, and then mimosine extracted and quantified as a percentage of DW of each part. The percentage that each main part (leaf, stem, root and embryonic leaf) contributed to the whole plant mimosine concentration was also

determined. Each experimental set contained at least 4 replicates with the plant parts collected from at least 3 seedlings per replicate.

Mimosine concentration in subparts of leaf, stem, root, green seed and mature seed

The leaves, stem, roots, green seeds and mature seeds (main parts) of giant leucaena were divided into their subparts. Leaves were divided to leaflets, rachis and petiole; stems were divided to mature stem and green stem (excluding embryonic leaves); roots were divided to primary and secondary roots; and green and mature seeds were divided to seed coat and cotyledons. The main parts were removed from 12-week-old plants and then further separated and grouped by respective subparts. Mimosine was extracted from these subparts and then determined as a percentage DW of each subpart. The percentage that each subpart contributed to the main parts were also determined. Each experimental set contained at least 4 replicates.

Expression of mimosine synthase in giant leucaena

To determine the expression levels of mimosine synthase ([Ur-Rashid et al. 2018](#)) in giant leucaena, mature seeds (no seed coat), green seeds (no seed coat), shoot tips and green seed pods (no seeds) were harvested from mature giant leucaena cultivar K636 trees from the University of Hawaii Waimanalo Research Station, Waimanalo, Hawaii. RNA was extracted from these parts using a modified CTAB method using Takara Fruit-mateTM (Takara Bio, Kusatsu, Shiga, Japan) in the extraction/lysis buffer to help increase RNA yields. After RNA extraction, RNA quality and quantity were determined using a Nanodrop spectrophotometer (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA) and through gel electrophoresis. DNA was removed from all samples using the Turbo DNase kit (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA) following manufacturers guidelines. cDNA was synthesized from 2 µg of total RNA using the TetroTM cDNA synthesis kit (Meridian Bioscience, Cincinnati, OH, USA) following manufacturers guidelines. After cDNA synthesis, samples were diluted using nuclease free water. A qRT-PCR master mix was prepared in 10 µL reactions containing 5 µL of SensifastTM SYBR® Hi-ROX kit (Meridian Bioscience, Cincinnati, OH, USA) aster mix, 0.25 µM forward primer, 0.25 µM reverse primer, 1 µL of MgCl₂, 1 µL of single strand cDNA, and nuclease free water to bring the final volume to 10

µL. All qRT-PCR reactions were run on a StepOneTM Real-time PCR system (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA) with reaction conditions set at 50 °C for 2 min, 95 °C for 2 min, 40 cycles of 95 °C for 15 s, 58 °C for 15 s, and 72 °C for 30 s, followed by melting curve analysis. Three biological replicates and 4 technical replicates were used for each tissue-type. The relative quantification for mimosine synthase gene expression in green and mature seeds and in shoot tips and green seed pods were determined from the cycle threshold (C_t) values, which were generated from each qRT-PCR reaction normalized against the C_t values of the internal reference gene, elongation factor-1α (eflα). eflα was identified as the most suitable internal control among 5 previously tested candidate reference genes (ubiquitin-5, β-actin, eflα, 5.8S rRNA, and 18S rRNA). The relative fold change in gene expression was determined using the 2^(-delta delta CT) (2^{-ΔΔCt}) method.

Statistical analyses

For HPLC analyses of mimosine concentration in giant leucaena, a student's t-test, or simple analyses of variance (ANOVA) followed by Tukey post-hoc, Tukey-Kramer, or Dunnett's test were used as appropriate for data distribution characteristics. Statistical significance was determined with significant differences for P<0.05. qRT-PCR data were analyzed using a student's t-test (P<0.05).

Results

Mimosine in germinating and non-germinated seeds

Following scarification, the washed mature seeds of giant leucaena contained 3.6% mimosine at the start (day 0) of germination (Figure 1). The mimosine concentration of germinating seeds was reduced to 2.4% after 2 d of incubation. Germinating seeds released 0.66 ± 0.042% DW mimosine/d to the surroundings during the first 3 d of germination. The mimosine concentration of the germinating seeds increased from day 4 and continued to day 10 following scarification, when the mimosine concentration reached 19.8%. Apparently, mimosine is being synthesized in the germinating seeds, resulting in a 450% increase in the mimosine concentration. In ungerminated mature seeds, mimosine concentration was reduced to 1.33 ± 0.21% DW on day 10 due to leaching. Thus, following scarification, 63% seed mimosine is leached out within 10 d.

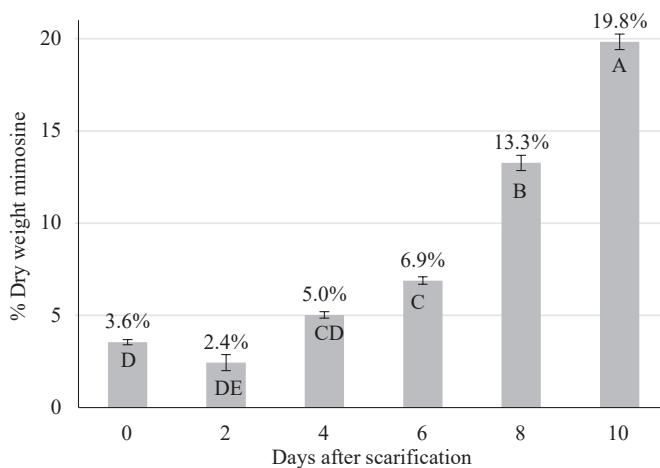


Figure 1. Mimosine concentration of giant leucaena mature seeds at 0, 2, 4, 6, 8, and 10 d after initial scarification. Error bars indicate standard error of 4 replications. Bars sharing a letter do not differ by Tukey-Kramer test ($P \leq 0.05$).

Mimosine concentration of giant leucaena during the first 7 months of growth

Mimosine concentration of seedlings changed significantly during early stages of growth and then stabilized after week 8 (Figure 2). At week 1, the mimosine concentration of the seedlings was 8.3% DW and at weeks 2 and 3, the mimosine concentration increased to 15.2% and 14.8% DW, respectively. Thereafter, mimosine concentrations decreased significantly to 9.4% and 4.4% DW at the 4th and 6th week, respectively. At the 8th week, total mimosine concentration of seedlings reduced further to 3.1% DW and thereafter, did not significantly change all the way through week 28. These results indicate that at a very early seedling stage giant leucaena produces high amounts of mimosine, which declines to ~3% DW after 8 weeks.

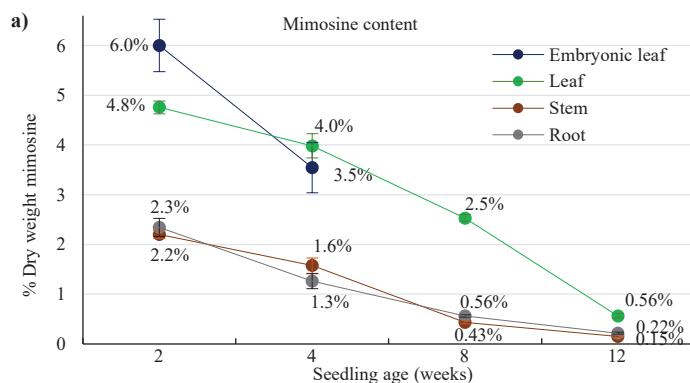


Figure 3. (a) Mimosine concentration in the leaves, stem, roots, and embryonic leaves of giant leucaena seedlings at 2, 4, 8, and 12 weeks of age; (b) Proportion of mimosine in the leaf, stem and root of giant leucaena, relative to the whole plant at 2, 4, 8, and 12 weeks of age. Embryonic leaves were excluded from the proportion. Error bars indicate standard error of 4 replications.

Mimosine concentration of leaf, stem, root and embryonic leaves of giant leucaena seedlings

Mimosine concentrations in plant parts were high during very early growth stages, but then decreased as the plants became older (Figure 3a). From all stages of growth tested, 2-week-old seedlings contained the highest mimosine concentrations in the leaves, stem, root and embryonic leaves. Embryonic leaves fell off between 6-10 weeks of seedling age. The amounts of mimosine present in leaves, stem and roots were also expressed as proportions of the whole plant mimosine. As the seedlings grew older, the proportions of leaf mimosine increased compared to the proportions of stem or root mimosine (Figure 3b). These results indicate that although whole plant mimosine concentration as percentage DW decreased with age, the proportion of mimosine in the leaves relative to the entire plant increased.

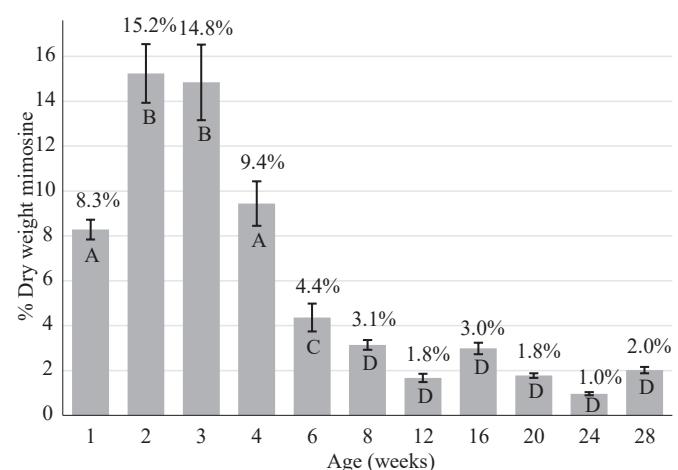
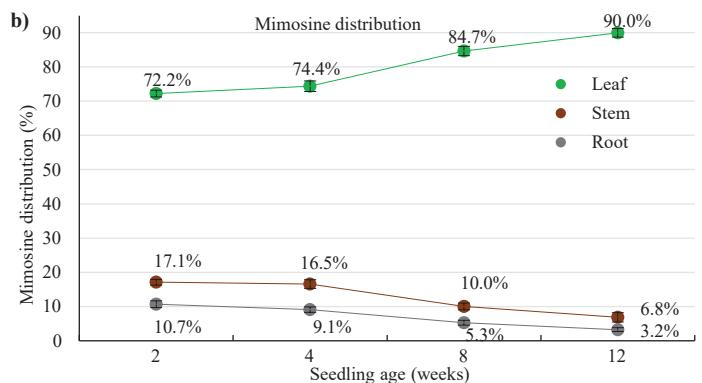


Figure 2. Mimosine concentration of giant leucaena seedlings at growth stages until 28 weeks. Error bars indicate standard error of 4 replications. Bars sharing a letter do not differ by Tukey-Kramer test ($P \leq 0.05$).



Mimosine distribution in different parts of the leaf

The mimosine concentration of whole leaves, including the leaflets, rachis and petiole of 8-week-old giant leucaena seedlings was 3.7% DW (Figure 4a). The mimosine concentration of leaflets was 4.1% DW, which was significantly higher than in the rachis and petiole which contained 2.5%, and 1.6% DW mimosine, respectively (Figure 4b). Among all parts of leucaena leaf, leaflets contained the highest proportion of mimosine at 79.1%, followed by the petiole and rachis at 10.7% and 10.2%, respectively (Figure 4c).

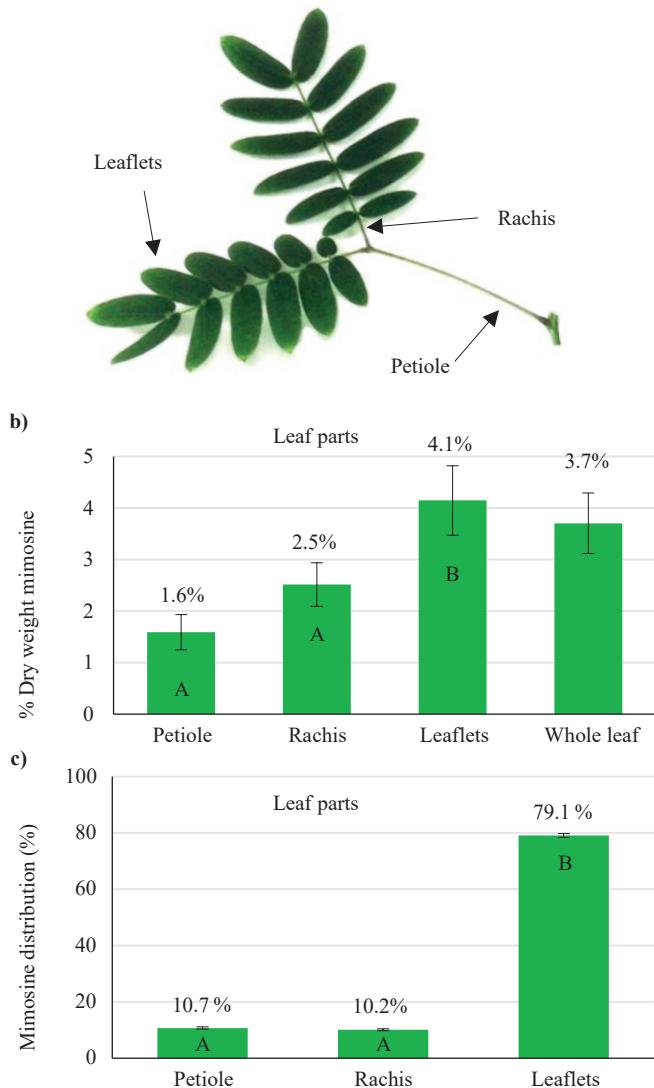


Figure 4. (a) Leaflets, rachis, and petiole of giant leucaena; (b) Mimosine concentration of leaflets, rachis, petioles, and whole leaves of giant leucaena seedlings; (c) Allocation of mimosine (% of the total mimosine of the entire leaf) within the parts of the leaf. Error bars indicate standard error of 4 replications. Bars sharing a letter do not differ by Tukey test ($P \leq 0.05$).

Mimosine distribution in different parts of the stem

Mimosine concentration of the entire stem of giant leucaena, including mature and green stem was 0.15% DW. Mimosine concentration of green and mature stems were 0.17% and 0.13% DW, respectively (Figure 5a). Mature stem and green stem contained 54.7% and 45.3% of the total stem mimosine, respectively (Figure 5b). These results indicate that although green stem has a higher mimosine concentration, the mature stem contains a higher proportion of the entire stem mimosine concentration.

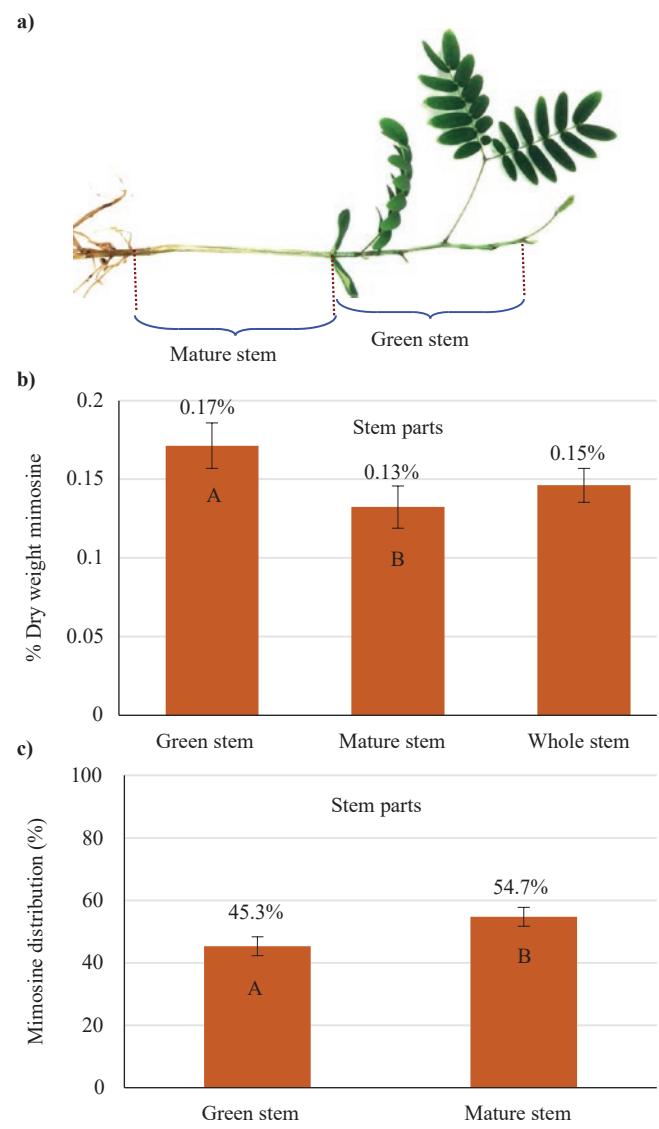
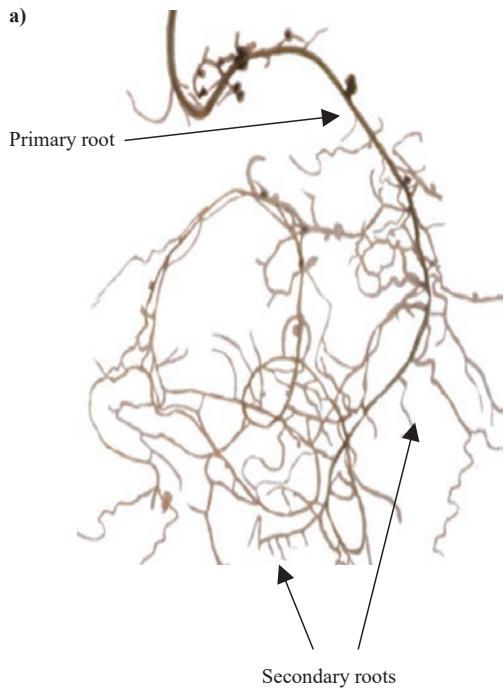


Figure 5. (a) Parts of the stem from giant leucaena; (b) Mimosine concentration of the green, mature, and whole stem of giant leucaena seedlings; (c) Allocation of mimosine (% of the total mimosine of the entire stem) within parts of the stem. Error bars indicate standard error of 4 replications. Bars sharing a letter do not differ by Tukey test ($P \leq 0.05$).

Mimosine distribution in different parts of the root

The mimosine concentration of the giant leucaena whole root system, including the primary and secondary roots was 0.25% DW (Figure 6a). The mimosine concentration of the primary root was 0.16% DW and the mimosine concentration of the secondary roots was 0.59% DW.



Although the primary root had a much lower mimosine concentration, it still comprised 45.9% of the entire root system's mimosine concentration. Secondary roots of leucaena seedlings had a higher mimosine concentration than the primary root as percentage of dry weight, comprising 54.1% of the entire root mimosine (Figure 6b).

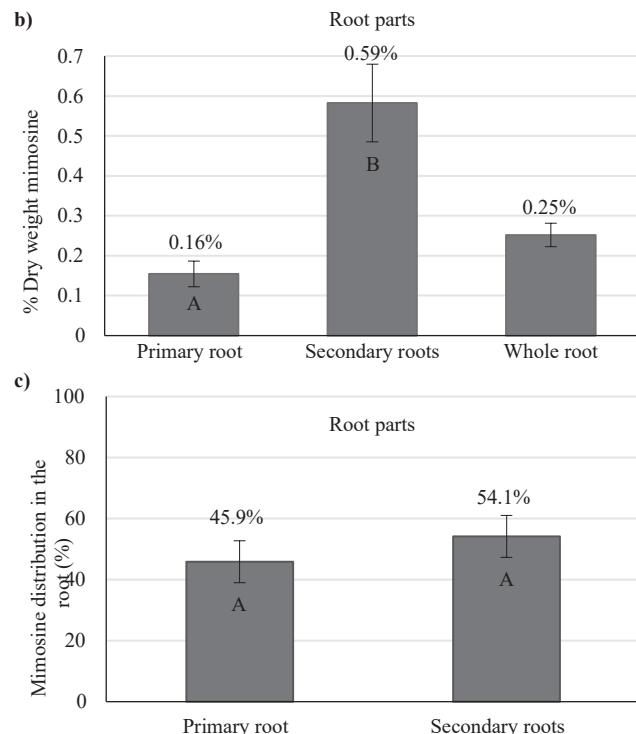


Figure 6. (a) Root parts of giant leucaena; (b) Mimosine concentration of primary, secondary and whole root system of giant leucaena seedlings; (c) Allocation of mimosine (% of the total mimosine of the entire root system) within the parts of the root. Error bars indicate standard error of 4 replications. Bars sharing a letter do not differ by Tukey test ($P \leq 0.05$).

Mimosine distribution in different parts of mature and green seeds

The mimosine concentration of whole green seeds and mature seeds were 3.8% and 3.2% DW, respectively (Figure 7a). The mimosine concentration of green and

mature seed coats were 0.5% and 1.5%, respectively. The mimosine concentrations of the green and mature seed cotyledons were 21.7% and 8.9% DW, respectively. Cotyledons of both green and mature seeds contained the highest proportion of the entire seeds mimosine concentration (Figure 7b).

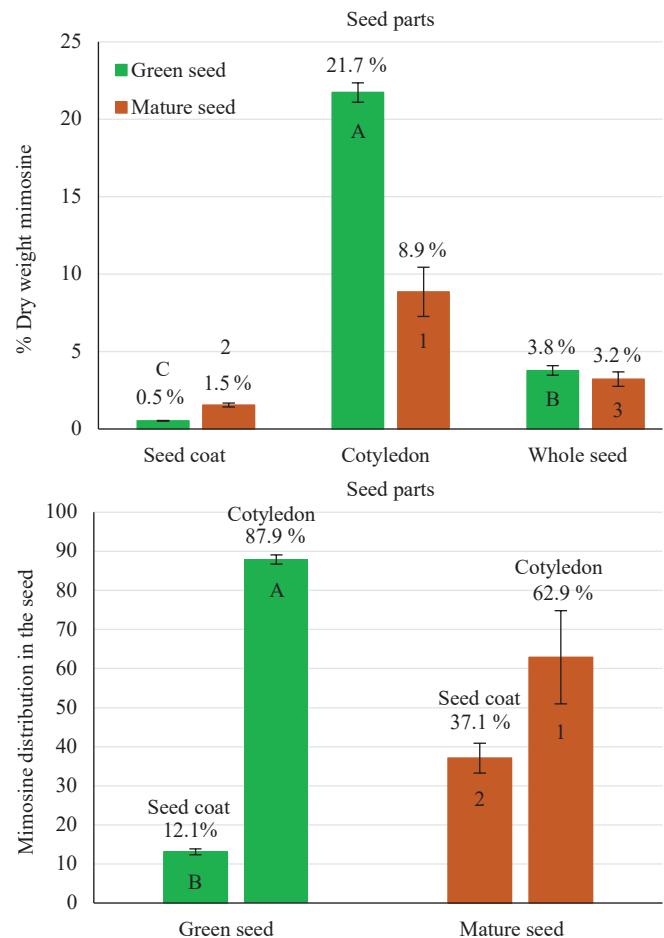
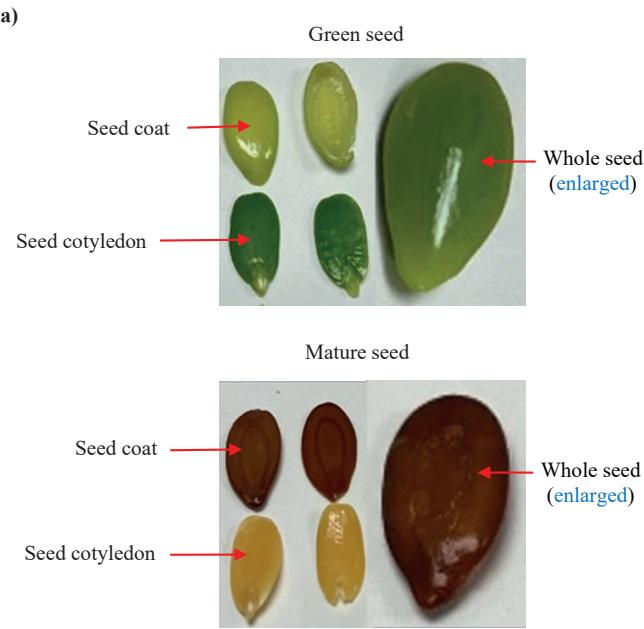


Figure 7. (a) Parts of green and mature seeds from giant leucaena; (b) Mimosine concentration of green and mature seed coats and cotyledons; (c) Allocation of mimosine (% of the total mimosine of the entire seed) within the parts of green and mature seeds. Error bars indicate standard error of 4 replications. Bars sharing a letter or number do not differ by Tukey test ($P \leq 0.05$).

Expression of mimosine synthase in green seeds, shoot tips and green seed pods

Giant leucaena green and mature seeds, green seed pods and fresh shoot tips, contain the highest amounts of mimosine. qRT-PCR analysis was used to test if there is a correlation between mimosine concentration and expression of mimosine synthase within these tissue types. Mature seeds following scarification served as the control. Green seeds had the highest relative increase in expression of mimosine synthase (5.1-fold), when compared to mature seeds (Figure 8). Shoot tips, which normally contain the highest concentrations of mimosine, were found to have 3 to 4-fold higher expression of mimosine synthase, when compared to mature seeds. Green seed pods and mature seeds appear to express mimosine synthase at similar levels. These results indicate that mimosine synthase expression does not have a large effect on the mimosine concentrations within leucaena tissues.

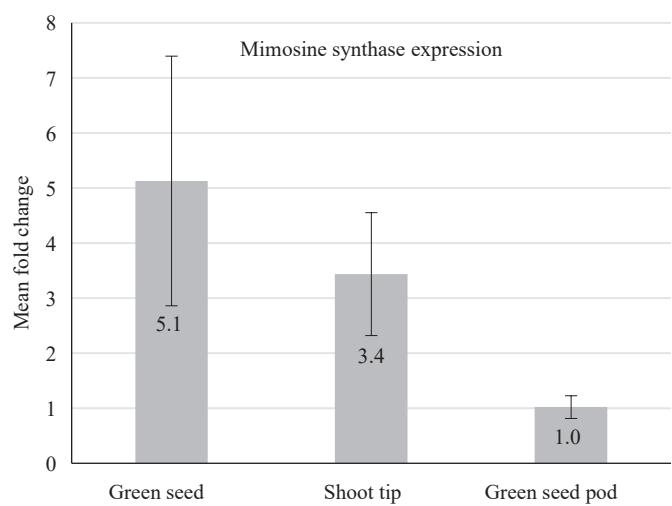


Figure 8. Mean fold change of mimosine synthase in green seeds, shoot tips and green seed pods. Mean fold change is calculated comparing the green seeds, shoot tips and green seed pods to mature seeds 0 days after initial scarification, which served as the control. Error bars indicate standard error of 3 replications.

Discussion

Mimosine is found in all parts of leucaena, including green buds, flowers, green seeds, mature seed pods, stem, root and root nodules ([Soedarlo and Borthakur 1996](#); [Rodrigues et al. 2019](#)). Honda and Borthakur ([2019](#); [2021](#)) found that the mimosine concentration of giant leucaena foliage fluctuated depending on the environmental growth conditions and stresses that plants are exposed to. Mimosine in the different parts of leucaena shoots can vary from 1 to 12% with growing tips containing the highest amounts, while the old stems contain the lowest amounts ([Jones 1979](#)). In a previous study, young leucaena leaves were found to contain ~4.5% mimosine on a dry weight basis, which decreased to ~2% in 10-week-old leaves ([Tangendjaja et al. 1986](#)). Generally, green seeds, shoot tips and green seed pods contain the highest concentrations of mimosine ([Soedarlo and Borthakur 1996](#)). The results of the present study using methods developed by Da Silva Rodrigues-Honda et al. ([2022](#)) for accurate extraction and quantification of mimosine from leucaena tissues show that these tissues also had relatively high expression of mimosine synthase when compared to expression in mature seeds, which contain high concentrations of mimosine. In the present study, young leucaena seedlings contained relatively high amounts of mimosine, which decreased significantly from 15.2 % DW at week 2 to 2.0% DW at week 28. Similarly, younger parts and tissues of leucaena contained more mimosine than older or more mature parts. Germinating mature seeds also contained relatively high amounts of mimosine, which fluctuated depending on the germination stage. Cotyledons of germinating seeds synthesized mimosine and released it to the surrounding area. Mimosine synthase expression was also found to fluctuate, depending on the germination stage. The reason mimosine is high in germinating seeds and young seedlings could be because younger plants are susceptible to pest and pathogen attack and the high mimosine concentration in young and soft tissues could deter pests and microbial pathogens. Mimosine, its degradation product, 3H4P, and the degradation product isomer 2,3DHP are known to have antimicrobial, nematicidal and insecticidal properties ([Anitha et al. 2005](#); [Nguyen et al. 2015](#)). Mimosine has also been researched for its herbicidal properties and has been shown to inhibit germination of rice seeds ([Prasad and Subhashini 1994](#)).

In the present study, mimosine was found in all major parts and subparts of the leaf, stem root, green seed

and mature seed. Among the parts and subparts tested, leaves and cotyledons (embryonic leaves) contained the highest amount of mimosine. Leucaena stems and roots contained much less mimosine than leaves and seeds. Although the presence of mimosine is generally considered undesirable in leucaena foliage for use as fodder, its presence is helpful for the leucaena plant for survival under some biotic and abiotic stresses. The high mimosine concentration in the leaf and seed may serve to deter pests, herbivores and airborne and soil pathogens. Leaves are also exposed to higher levels of UV light and heat, which could induce osmotic and oxidative stress within leaf tissues ([Rodrigues Correa et al. 2019](#)). Cotyledons in the soil are exposed to different pathogens as well as varying degrees of osmotic stress. The mimosine present in the roots could be a means of releasing and widely dispersing it in the rhizosphere. Root secreted mimosine can serve as a phytosiderophore by binding and solubilizing important soil nutrients like iron, copper and zinc, making it easier for the plant to absorb from the soil, especially young seedlings that are not yet established. Secreted mimosine may also be a means to inhibit growth of soil pathogens and potential plant competitors. When seedlings are young, the high amount of mimosine present in seed cotyledons, which later become the embryonic leaves, could serve to supply the rest of the plant with mimosine. Mimosine has also been shown to be an osmolyte and antioxidant that helps plants counter secondary stresses that confers tolerance to grow successfully under osmotic and oxidative stress ([Honda and Borthakur 2021](#)). Osmotic stress is a type of secondary stress induced by a primary stress such as drought or pest and pathogen attack ([Honda and Borthakur 2021](#)).

The authors acknowledge that the gene expression portion of this study was conducted using material collected from field conditions in the state of Hawaii, USA, while the rest of this study was carried out under controlled growth conditions. The actual mimosine concentration results are expected to be different from studies conducted in other environments and regions of the world. However, this study showed that mimosine concentrations vary within giant leucaena based on age and tissue type, which can be translated to other growth environments.

In order to improve fodder quality of giant leucaena, plant breeders have tried to develop varieties with reduced mimosine ([Brewbaker 2016](#)). However, there are no mimosine-free *Leucaena* species available in nature, although there is some variation in mimosine

concentration among diploid and tetraploid leucaena species. Inter-species crosses among diploid and tetraploid species did not result in progenies with reduced mimosine ([Brewbaker 2016](#)). Jube and Borthakur ([2010](#)) developed a transgenic line of giant leucaena K636 by expressing the *pydA* gene encoding a meta-cleavage dioxygenase isolated from *Rhizobium* that forms nitrogen-fixing root nodules on leucaena. Dioxygenase encoded by *pydA* degrades 3H4P, which is an intermediate in both synthesis and degradation of mimosine. It was expected that expression of this enzyme in leucaena would reduce mimosine synthesis by degrading 3H4P, which is a precursor for mimosine biosynthesis. The mimosine concentration of the *pydA*-expressing transgenic plants was reduced by 22.5% in comparison to K636.

Giant leucaena is an allotetraploid species with 104 chromosomes and a basic chromosome number of $x=26$. Therefore, it is likely that the genes for mimosine biosynthesis are present in 4 copies. In mimosine-free mutants of giant leucaena, all 4 copies of a mimosine biosynthesis gene must be mutated. This may be the reason why spontaneous mimosine-free mutants are not found in nature. It should be possible to construct mimosine-free mutants of giant leucaena in the future using CRISPR, a recently developed genome editing method, in which all copies of a gene are mutated simultaneously. For the mimosine biosynthesis pathway, so far, only the final step in which mimosine synthase catalyzes reaction between O-acetylserine and 3H4P to produce mimosine is known ([Yafuso et al. 2014](#)); the biochemical steps and the enzymes or genes involved in the synthesis of the 3H4P have not yet been discovered. It is however known that the amino acid lysine is the precursor for biosynthesis of the pyridone ring (3H4P) of mimosine ([Negi et al. 2021](#)). Identification and characterization of the enzymes/genes for 3H4P biosynthesis will open the way for developing mimosine-free giant leucaena. It remains to be seen if such mimosine-free leucaena grows larger but fails to grow in alkaline soils where metallic cations such as iron and zinc are not easily available or the plant becomes susceptible to some biotic and abiotic stresses.

Giant leucaena is grown in Southeast Asia, Australia, and South America for its highly nutritious foliage that is widely used as animal fodder. The presence of mimosine in giant leucaena foliage limits its acceptability and usage as an animal fodder. Although toxic, mimosine, its degradation product 3H4P, and the 3H4P isomers can be combated in animals by inoculation with the

ruminant bacterium *Synergistis jonesii*. However, if mimosine or its metabolite 2,3DHP are not present in the animal diet from leucaena foliage, the bacterial strain is lost within 6–9 months ([Glatzle et al. 2019](#)). Other mimosine-degrading bacterial strains have also been identified. Halliday et al. ([2018](#)) found that inoculation did not fully protect *Bos indicus* steers from 2,3DHP toxicity and postulated that inoculation may not be necessary. Recently, it was found that mimsoine-derived toxins can be naturally removed by animals and excreted in their urine as a mimosine-glucoronic acid conjugate ([Shelton et al. 2019](#)). Another way to combat mimosine toxicity would be to remove it post-harvest. Sundried leucaena leaves contain significantly less mimosine than untreated leaves ([Agbo et al. 2017](#); [Wee and Wang 1987](#)). Soedarjo and Borthakur ([1996](#)) found that soaking leucaena leaves, pods and seeds in water removed up to 97% of mimosine without reducing protein amounts. Similarly, prolonged soaking of leaves in warm water (30 °C) for 48 h caused most of the mimosine to be degraded ([Wee and Wang 1987](#)). In a study conducted by Honda and Borthakur ([2022](#)), it was found that soaking leucaena leaves in an acid solution removed >90% of mimosine; however, it was also found that this method significantly reduced the gross energy of the foliage. In this same study, the authors developed a simple post-harvest processing method that significantly reduced not only mimosine, but also indigestible fibers and proanthocyanidins. Besides reducing these nutrient-limiting compounds, maceration also led to a significant increase in carbohydrates, which was thought to be in part due to the degradation of mimosine, fibers and proanthocyanidins. Ensiling was also found to lower mimosine of leucaena foliage; however, this decrease was due to degradation by endogenous enzyme release and not by fermentation ([Lyon 1985](#)).

Although mimosine in leucaena fodder can cause toxicity symptoms, some reports have stated that feeding animals a diet comprised mostly of leucaena (≥60%) was efficient and animals showed good performance ([Giang et al. 2016](#); [Halliday et al. 2018](#); [Ruiz et al. 2019](#); [Shelton et al. 2019](#)). However, many studies indicate that a diet high in leucaena leads to unwanted side effects and a decline in animal productivity ([Megarry and Jones 1983](#); [Santiago et al. 1988](#); [Ram et al. 1994](#); [Gupta and Atreja 1999](#)). When utilizing leucaena fodder for food or as a protein supplement, it is important to note that the foliage, especially the active growing parts, contains a significant amount of mimosine. This can lead to unwanted side-effects that negatively affect health and animal production.

Conclusion

Mimosine is present in all parts of leucaena, and its concentrations vary with the age of the plant. Mimosine concentration is relatively high in the seeds, young leaves and shoot tips. The results of this study can be used to predict mimosine concentrations of giant leucaena plant parts as plants age and determine safe amounts for incorporating in livestock diets.

Acknowledgments

This research was supported by a USDA McIntire grant.

References

- (Note of the editors: All hyperlinks were verified 12 January 2024).
- Agbo AN; Balogun JK; Oniye SJ; Auta J. 2017. Effect of different processing methods on nutritional composition of *Leucaena leucocephala* (Lam De Wit) leaves as inclusion in fish feed. Journal of Applied Environmental Management. 21(4):719–725. doi: [10.4314/jasem.v21i4.12](https://doi.org/10.4314/jasem.v21i4.12)
- Anitha R; Jayavelu S; Murugesan K. 2005. Antidermatophytic and bacterial activity of mimosine. Phytotherapy Research 19(11):992–993. doi: [10.1002/ptr.1761](https://doi.org/10.1002/ptr.1761)
- Bageel A; Borthakur D. 2022. The effects of pH, salinity, age of leaves, post-harvest storage duration, and psyllid infestation on nutritional qualities of giant leucaena fodder. Journal of Crop Science and Biotechnology. 25:381–392. doi: [10.1007/s12892-021-00139-9](https://doi.org/10.1007/s12892-021-00139-9)
- Bageel A; Honda MDH; Carillo JT; Borthakur D. 2020. Giant leucaena (*Leucaena leucocephala* subsp. *glabrata*): a versatile tree-legume for sustainable agroforestry. Agroforestry Systems 94:251–268. doi: [10.1007/s10457-019-00392-6](https://doi.org/10.1007/s10457-019-00392-6)
- Brewbaker JL. 2016. Breeding leucaena: tropical multipurpose leguminous tree. In: Janick J, ed. Plant Breeding Reviews 40. Wiley-Blackwell, Inc., Hoboken, NJ, USA. p. 43–121. doi: [10.1002/9781119279723.ch2](https://doi.org/10.1002/9781119279723.ch2)
- Crounse RG; Maxwell JD; Blank H. 1962. Inhibition of growth of hair by mimosine. Nature 194:694–695. doi: [10.1038/194694b0](https://doi.org/10.1038/194694b0)
- Da Silva Rodrigues-Honda KC; Honda MDH; Borthakur D; Fett-Neto AG. 2022. Methods of mimosine extraction from *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit leaves. In: Fett-Neto AG, ed. Plant Secondary Metabolism Engineering. Methods in Molecular Biology, vol 2469. Humana, New York, NY, USA. p. 231–237. doi: [10.1007/978-1-0716-2185-1_19](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2185-1_19)
- Dahlanuddin; Panjaitan T; Waldron S; Halliday MJ; Ash A; Morris ST; Shelton HM. 2019. Adoption of leucaena-based feeding systems in Sumbawa, eastern Indonesia and its impact on cattle productivity and farm profitability. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7(4):428–436. doi: [10.17138/tgft\(7\)428-436](https://doi.org/10.17138/tgft(7)428-436)
- Dewreede S; Wayman O. 1970. Effect of mimosine on the rat fetus. Teratology 3(1):21–27. doi: [10.1002/tera.1420030106](https://doi.org/10.1002/tera.1420030106)
- Giang NTT; Wanapat M; Phesatcha K; Kang S. 2016. Level of *Leucaena leucocephala* silage feeding on intake, rumen fermentation, and nutrient digestibility in dairy steers. Tropical Animal Health and Production 48:1057–1064. doi: [10.1007/s11250-016-1060-3](https://doi.org/10.1007/s11250-016-1060-3)
- Glatzle AF; Cabrera AN; Naegele A; Klassen N. 2019. Leucaena feeding systems in Paraguay. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7(4):397–402. doi: [10.17138/TGFT\(7\)397-402](https://doi.org/10.17138/TGFT(7)397-402)
- Gupta HK; Atreja PP. 1999. Influence of feeding increasing levels of leucaena leaf meal on the performance of milch goats and metabolism of mimosine and 3-hydroxy-4 (1H)-pyridone. Animal Feed Science and Technology 78:159–167. doi: [10.1016/S0377-8401\(98\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00263-6)
- Halliday MJ; Giles HE; Padmanabha J; McSweeney CS; Dalzell SA; Shelton HM. 2018. The efficacy of a cultured *Synergistes jonesii* inoculum to control hydroxypyridone toxicity in *Bos indicus* steers fed leucaena/grass diets. Animal Production Science 59(4):696–708. doi: [10.1071/AN17853](https://doi.org/10.1071/AN17853)
- Hamilton RI; Donaldson LE; Lambourne; LJ. 1968. Enlarged thyroid glands in calves born to heifers fed a sole diet of *Leucaena leucocephala*. Australian Veterinary Journal 44(10):484. doi: [10.1111/j.1751-0813.1968.tb08984.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1968.tb08984.x)
- Hegarty MP; Lee CP; Christie GS; Court RD; Haydock KP. 1979. The goitrogen 3-Hydroxy-4. 1H.- Pyridone, a ruminal metabolite from *Leucaena leucocephala*: effects in mice and rats. Australian Journal of Biological Science 32:27–40. doi: [10.1071/BI9790027](https://doi.org/10.1071/BI9790027)
- Honda MDH; Borthakur D. 2019. Mimosine concentration in *Leucaena leucocephala* under various environmental conditions. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7(2):164–172. doi: [10.17138/tgft\(7\)164-172](https://doi.org/10.17138/tgft(7)164-172)
- Honda MDH; Borthakur D. 2021. Mimosine is a stress-response molecule that serves as both an antioxidant and osmolyte in giant leucaena (*Leucaena leucocephala* subsp. *glabrata*) during environmental stress conditions. Plant Stress 2:100015 doi: [10.1016/j.plants.2021.100015](https://doi.org/10.1016/j.plants.2021.100015)
- Honda MDH; Ishihara KL; Pham DT; Borthakur D. 2018. Identification of drought-induced genes in giant leucaena (*Leucaena leucocephala* subsp. *glabrata*). Trees 32:571–585. doi: [10.1007/s00468-018-1657-4](https://doi.org/10.1007/s00468-018-1657-4)
- Honda MDH; Youkhana A; Idol T; Borthakur D. 2022. A maceration treatment of leucaena foliage improves its nutritional value by reducing mimosine concentration. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 10(1):1–14. doi: [10.17138/tgft\(10\)1-14](https://doi.org/10.17138/tgft(10)1-14)
- Ishihara KL; Honda MD; Bageel A; Borthakur D. 2018. *Leucaena leucocephala*: a leguminous tree suitable for eroded habitats of Hawaiian Islands. In: Dagar JC; Singh AK, eds. Ravine lands: greening for livelihood and environmental security. Springer, Singapore. p. 413–431. doi: [10.1007/978-981-10-8043-2_18](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8043-2_18)

- Jones RJ. 1979. The value of *Leucaena leucocephala* as a feed for ruminants in the tropics. World Animal Review 31:13–23.
- Jones RJ; Hegarty MP. 1984. The effect of different proportions of *Leucaena leucocephala* in the diet of cattle on growth, feed intake, thyroid function and urinary excretion of 3-hydroxy-4-(1H)-pyridone. Australian Journal of Agricultural Research 35(2):317–25. doi: [10.1071/AR9840317](https://doi.org/10.1071/AR9840317)
- Jube SLR; Borthakur D. 2010. Transgenic *Leucaena leucocephala* expressing the *Rhizobium* gene *pydA* encoding a meta-cleavage dioxygenase shows reduced mimosine content. Plant Physiology and Biochemistry 48(4):273–278. doi: [10.1016/j.plaphy.2010.01.005](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.01.005)
- Khy Y; Wanapat M; Haitook T; Cherdthong A. 2012. Effect of *Leucaena Leucocephala* pellet (LLP) supplementation on rumen fermentation efficiency and digestibility of nutrient in swamp buffalo. The Journal of Animal and Plant Sciences 22(3):564–569. bit.ly/3RRxnoG
- Lyon CK. 1985. Degradation of mimosine during ensiling of *Leucaena*. Journal of the Science of Food and Agriculture 36(10):936–940. doi: [10.1002/jsfa.2740361005](https://doi.org/10.1002/jsfa.2740361005)
- Megarry RG; Jones RJ. 1983. Toxicity of *Leucaena leucocephala* in ruminants: the effect of supplemental thyroxine on goats fed on a sole diet of *Leucaena*. Australian Journal of Agricultural Research 34(6):791–798. doi: [10.1071/AR9830791](https://doi.org/10.1071/AR9830791)
- Negi VS; Bingham J-P; Li QX; Borthakur D. 2013. *midD*-encoded ‘rhizomimosinase’ from *Rhizobium* sp. strain TAL1145 is a C–N lyase that catabolizes L-mimosine into 3-hydroxy-4-pyridone, pyruvate and ammonia. Amino Acids 44:1537–1547. doi: [10.1007/s00726-013-1479-z](https://doi.org/10.1007/s00726-013-1479-z)
- Negi VS; Bingham J-P; Li QX; Borthakur D. 2014. A carbon–nitrogen lyase from *Leucaena leucocephala* catalyzes the first step of mimosine degradation. Plant Physiology 164(2):922–934. doi: [10.1104/pp.113.230870](https://doi.org/10.1104/pp.113.230870)
- Negi VS; Pal A; Borthakur D. 2021. Biochemistry of plants N–heterocyclic non-protein amino acids. Amino Acids 53:801–812. doi: [10.1007/s00726-021-02990-0](https://doi.org/10.1007/s00726-021-02990-0)
- Nguyen BCQ; Chompoo J; Tawata S. 2015. Insecticidal and nematicidal activities of novel mimosine derivatives. Molecules 20(9):16741–16756. doi: [10.3390/molecules200916741](https://doi.org/10.3390/molecules200916741)
- Orden EA; Abdulrazak SA; Cruz EM; Orden MEM; Ichinohe T; Fujihara T. 2000. *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* supplementation in sheep fed with ammonia treated rice straw: effects on intake, digestibility, microbial protein yield and live-weight changes. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 13(12):1659–1666. doi: [10.5713/ajas.2000.1659](https://doi.org/10.5713/ajas.2000.1659)
- Prasad MNV; Subhashini P. 1994. Mimosine-inhibited seed germination; seedling growth and enzymes of *Oryza sativa* L. Journal of Chemical Ecology 20:1689–1696. doi: [10.1007/BF02059890](https://doi.org/10.1007/BF02059890)
- Ram JJ; Atreja PP; Chopra RC; Chhabra A. 1994. Mimosine degradation in calves fed a sole diet of *Leucaena leucocephala* in India. Tropical Animal Health and Production 26:199–206. doi: [10.1007/BF02240380](https://doi.org/10.1007/BF02240380)
- Rodrigues-Correa KCS; Honda MDH; Borthakur D; Fett-Neto AG. 2019. Mimosine accumulation in *Leucaena leucocephala* in response to stress signaling molecules and acute UV exposure. Plant Physiology and Biochemistry 135:432–440. doi: [10.1016/j.plaphy.2018.11.018](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.018)
- Ruiz TE; Febles GJ; Castillo E; Simón L; Lamela L; Hernández I; Jordán H; Galindo JL; Chongo BB; Delgado DC; Crespo GJ; Valenciaga N; La O O; Alonso J; Cino DM; Lok S; Reyes F; Esperance M; Iglesias J; Hernández M; Sánchez T; Pérez A; Soca M. 2019. Leucaena feeding systems in Cuba. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales, 7(4):403–406. doi: [10.17138/tgft\(7\)403-406](https://doi.org/10.17138/tgft(7)403-406)
- Sanginga N; Mulongoy K; Ayanaba A. 1989. Nitrogen fixation of field-inoculated *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit estimated by the ¹⁵N and the difference methods. Plant and Soil 117:269–274 doi: [10.1007/BF02220721](https://doi.org/10.1007/BF02220721)
- Santiago CB; Aldaba MB; Laron MA; Reyes OS. 1988. Reproductive performance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock fed diets containing *Leucaena leucocephala* leaf meal. Aquaculture 70:53–61. doi: [10.1016/0044-8486\(88\)90006-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90006-3)
- Sethi P; Kulkarni PR. 1995. *Leucaena leucocephala* A nutrition profile. Food and Nutrition Bulletin 16(3):1–16. doi: [10.1177/156482659501600307](https://doi.org/10.1177/156482659501600307)
- Shelton HM; Brewbaker JL. 1994. *Leucaena leucocephala* - the most widely used forage tree legume. CAB Intl, London, p. 15–29.
- Shelton H; Kerven GL; Dalzell SA. 2019. An update on leucaena toxicity: Is inoculation with *Synergistes jonesii* necessary? Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7(2):146–153. doi: [10.17138/tgft\(7\)146-153](https://doi.org/10.17138/tgft(7)146-153)
- Soedarjo M; Borthakur D. 1996. Simple procedures to remove mimosine from young leaves, pods and seeds of *Leucaena leucocephala* used as food. International Journal of Food Science and Technology 31(1):97–103. doi: [10.1111/j.1365-2621.1996.24-321.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.24-321.x)
- Tangendjaja B; Lowry JB; Wills RBH. 1986. Changes in mimosine, phenol, protein and fibre content of *Leucaena leucocephala* leaf during growth and development. Australian Journal of Experimental Agriculture 26(3):315–317. doi: [10.1071/EA9860315](https://doi.org/10.1071/EA9860315)
- Ur-Rashid MH; Iwasaki H; Parveen S; Oogai S; Fukuta M; Hossain MA; Anai T; Oku H. 2018. Cytosolic cysteine synthase switch cysteine and mimosine production in *Leucaena leucocephala*. Applied Biochemistry and Biotechnology 186:613–632 doi: [10.1007/s12010-018-2745-z](https://doi.org/10.1007/s12010-018-2745-z)
- Wee KL; Wang S. 1987. Effect of post-harvest treatment on the degradation of mimosine in *Leucaena leucocephala* leaves. Journal of The Science of Food and Agriculture 39(3):195–201. doi: [10.1002/jsfa.2740390302](https://doi.org/10.1002/jsfa.2740390302)

Yafuso JT; Negi VS; Bingham JP; Borthakur D. 2014. An O-acetylserine thiol lyase from Leucaena leucocephala is a cysteine synthase but not a mimosine synthase.

Applied Biochemistry and Biotechnology 173:1157–1168.
doi:10.1007/s12010-014-0917-z

(Received for publication 27 July 2022; accepted 20 December 2023; published 31 January 2024)

© 2024



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales is an open-access journal published by the *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, in association with the *Tropical Crops Genetic Resources Institute* of the *Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (TCGRI-CATAS)*. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

Artículo Científico

Aplicación de 2 modelos basados en teledetección para estimar la producción primaria neta aérea en un sistema pastoril en la Altillanura colombiana

Application of 2 models based on remote sensing to estimate aerial net primary production in a pastoral system in the Colombian Altillanura

RAÚL ALEJANDRO DÍAZ GIRALDO, MAURICIO ÁLVAREZ DE LEÓN[†], OTONIEL PÉREZ LÓPEZ,
SONIA LUCÍA GUTIÉRREZ PARRADO, Y MIGUEL ANDRÉS ARANGO ARGOTI

C.I. La Libertad, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Villavicencio, Colombia. agrosavia.co
[†]Fallecido el 24 de mayo de 2023

Resumen

La evaluación de la Producción Primaria Neta Aérea (PPNA), medida como la cantidad de materia seca (MS) acumulada por las plantas en la biomasa aérea, es fundamental para las decisiones de manejo en sistemas de producción bovina basados en pasturas. Este estudio tuvo como objetivo comparar 2 modelos para estimar la PPNA usando datos colectados usando sensores remotos: uno empírico usando la regresión lineal (MERL) entre índices de vegetación y biomasa vegetal y otro semi-empírico, basado en la eficiencia del uso de la radiación por parte de las plantas (VPM). Se monitorearon 14 potreros de *Urochloa humidicola* CIAT 6133 cultivar 'Llanero' (de 3.1 ha cada uno) manejados bajo pastoreo, con 30 días de descanso. La información espectral se obtuvo de un sensor Sentinel 2 integrado para calcular los índices Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y el Índice de Agua de la Superficie Terrestre (LSWI). Los datos de radiación global se obtuvieron de una estación meteorológica de campo. El mejor índice fue el NDVI con un R^2 , error cuadrático medio (RMSE) y error relativo de predicción (RE, %) de 0.68, 99.5 y 16.42 para MERL, y de 0.79, 103.62 y 17.16 para VPM, respectivamente. Los modelos MERL y VPM demostraron ser herramientas potencialmente útiles para la estimación de PPNA a partir de imágenes Sentinel 2A.

Palabras clave: Forrajes, NDVI, sabanas tropicales, Sentinel 2A, *Urochloa humidicola*.

Abstract

The assessment of Net Above-ground Primary Production (NAPP), measured as accumulated dry matter (DM) by plants in above-ground biomass, is crucial for management decisions in cattle production systems based on pastures. This study aimed to compare 2 models for estimating NAPP using data collected via remote sensing: one empirical model using linear regression (ELR) between vegetation indices and plant biomass and another semi-empirical model based on plant radiation use efficiency (RUE). Fourteen pastures of *Urochloa humidicola* CIAT 6133 cultivar 'Llanero' (each 3.1 ha) managed under grazing with 30 days of resting period were monitored. Spectral information was obtained from a Sentinel 2 sensor to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), and Land Surface Water Index (LSWI). Global radiation data were collected from a field meteorological station. The best-performing index was NDVI, with R^2 , root mean square error (RMSE), and relative prediction error (RE, %) of 0.68, 99.5, and 16.42 for ELR, and 0.79, 103.62, and 17.16 for RUE, respectively. Both ELR and RUE models demonstrated their potential for use as tools for NAPP estimation from Sentinel 2A images in tropical forage pastures.

Keywords: Forages, NDVI, Sentinel 2A, tropical savannas, *Urochloa humidicola*.

Correspondencia: Raúl Alejandro Díaz Giraldo, Agrosavia.
Centro de Investigación La Libertad. Km 17, vía Puerto López,
Villavicencio, Colombia. E-mail: mideelcampo@gmail.com

Introducción

Los pastos constituyen la principal fuente de alimentación que sustenta la producción ganadera en muchas zonas tropicales. En los Llanos Orientales de Colombia, el establecimiento de pastos mejorados, especialmente del género *Urochloa*, antes *Brachiaria* ([Cook y Schultze-Kraft 2015; Rincón et al. 2019](#)), está bastante difundido y esa especie ha contribuido a mejorar la productividad en las fincas ganaderas debido a su amplia gama de adaptación, especialmente por su tolerancia a suelos ácidos y alta producción de biomasa ([Rivas y Holmann 2004; Pardo y Pérez 2010; Rincón y Caicedo 2010](#)).

La producción primaria neta aérea (PPNA) constituye la cantidad de biomasa seca (MS) acumulada por las plantas gracias al proceso de fotosíntesis, la cual se expresa en unidades de peso por espacio y tiempo. En los sistemas ganaderos basados en pasturas, la PPNA es la cantidad de biomasa disponible para el consumo animal, por lo que la estimación de este parámetro se convierte en un dato clave para el manejo sostenible de los pastos ([Cristiano et al. 2012; Rosa y Sano 2013; Yuchao Yang et al. 2018](#)). A nivel de potrero, se han usado con éxito diversos métodos para la estimación directa de PPNA a partir de cortes de biomasa; sin embargo, esa metodología presenta limitaciones para estimaciones a escala regional ([Gallego et al. 2017; Pezzani et al. 2017](#)).

En ese sentido, la teledetección permite abarcar un área mayor para el estudio de las variaciones espaciales y temporales de la cobertura de pastos a partir de sus propiedades ópticas, pero los modelos utilizados para estimar la disponibilidad de biomasa son empíricos o semi-empíricos. Los modelos empíricos generalmente involucran relaciones estadísticas entre índices de vegetación (IV) y mediciones de biomasa efectuadas en campo ([Tucker 1979; Dungan 1998; Marshall et al. 2018](#)). Por ejemplo, en la Altillanura colombiana, Díaz et al. ([2019](#)) utilizaron una regresión lineal entre el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y los datos de disponibilidad de forraje para estimar PPNA. De manera similar, Tucker et al. ([1983](#)) utilizaron una regresión lineal y logarítmica para estimar la disponibilidad de biomasa forrajera a partir de índices de vegetación en la región del Sahel en Senegal.

Los modelos semi-empíricos, también conocidos como modelos de fotosíntesis de la vegetación (VPM), se basan en la eficiencia del uso de la radiación ([Monteith 1972](#)), lo que permite utilizar la información espectral proporcionada por plataformas satelitales para estudiar a escala regional diferentes procesos asociados con la

producción de pastos, entre los que se incluye la PPNA ([Paruelo et al. 2000; Awaya et al. 2004; Wu WeiXing et al. 2008; Madugundu et al. 2017](#)). Estos modelos también utilizan los IV y se basan en la radiación fotosintéticamente activa absorbida (APAR) por los tejidos vegetales verdes y la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) para transformar la energía lumínica en materia seca ([Grigera 2011; Paruelo et al. 2011; Gallego et al. 2017](#)). Los modelos semi-empíricos utilizan factores de regulación a la baja como Tesc y Wesc, correspondientes a valores escalares de temperatura y agua, respectivamente ([Xianming Xiao et al. 2004a; Liang et al. 2012](#)).

Entre los índices de vegetación, el NDVI ha sido utilizado ampliamente para estimar la PPNA, aunque se reconoce que es sensible al contenido de humedad en el suelo y tiende a saturarse por la alta absorción de los pigmentos de clorofila a medida aumenta la cubierta de hojas ([Carlson y Ripley 1997; Huete et al. 2002; Ollinger 2011; Subhashree et al. 2023](#)). Para superar esas limitaciones se han desarrollado nuevos índices como el EVI (Índice de Vegetación Mejorado), que fue utilizado por Kawamura et al. ([2005](#)) en la estepa Xilingol de Mongolia para estimar la disponibilidad de forraje verde y por Hao Shi et al. ([2017](#)) para el análisis de rendimiento de cultivos a partir de los datos micro-meteorológicos obtenidos de torres Eddy Covariance, dentro de la red FLUXNET, e imágenes del sensor MODIS. Entre los índices de vegetación disponibles, el NDVI y EVI han sido los más utilizados, porque relacionan el vigor de la vegetación y la biomasa disponible ([Madugundu et al. 2017](#)).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de los índices de vegetación derivados de Sentinel 2A para estimar la PPNA a partir de un modelo de regresión lineal empírico (MERL) y un modelo semi-empírico que considera la actividad fotosintética de la vegetación (VPM).

Materiales y Métodos

Ubicación

El estudio se realizó en el Centro de Investigación Carimagua de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), especializado en sistemas de producción agrícola, agroforestal y vacunos, georreferenciada por las coordenadas $4^{\circ}34'16.41''$ N y $71^{\circ}20'4.69''$ O, y se encuentra a una altitud de 167 metros sobre el nivel del mar (msnm). El Centro Carimagua está ubicado en la Altillanura del municipio de Puerto Gaitán del departamento del



Figura 1. Sitio de estudio en el centro de investigación Carimagua de la corporación colombiana de investigación agropecuaria – Agrosavia, Meta, Colombia.

Meta, Colombia (Figura 1). Durante el período en que se desarrolló el experimento la precipitación media anual fue de 2,345 mm, con una estación seca bien definida desde diciembre a marzo, la temperatura media de 26 °C (máxima 33 °C y mínima 22 °C) y la humedad relativa media anual de 76%.

Toma de muestras

El área donde se desarrolló el estudio corresponde a un sistema de pastoreo rotacional de *Urochloa humidicola* CIAT 6133 cultivar 'Llanero' (syn. *Brachiaria humidicola*; antes *Brachiaria dictyoneura*) ([Cook y Schultze-Kraft 2015](#); [Rincón et al. 2019](#)), con una carga de 2.0 animales/ha, trabajando con ganado cebuino de cría. La oferta de forraje observada (PPNA_{OBS}) se evaluó en potreros (PE) de 3.1 ha, a los 30 días de rebrote, con base en la metodología descrita por Rincón et al. ([2018](#)). Las muestras fueron pesadas en fresco y luego secadas en una estufa de aire forzado a 60 °C por 72 horas ([Rincón 2011](#)) y pesadas nuevamente para obtener el peso seco y el contenido de MS en las muestras colectadas.

Análisis de imágenes y cálculo de índices de vegetación

Las imágenes del área de estudio fueron descargadas en el sitio web de Earth Explorer ([earthexplorer.usgs.gov](#)), portal de libre acceso del Servicio Geológico de los Estados Unidos-USGS. Se obtuvieron 3 imágenes del satélite Sentinel 2A libres de nubes para las fechas 8 de diciembre de 2015 (*Img1*), 7 de enero (*Img2*) y 15 de noviembre (*Img3*) del 2016, las cuales coincidieron con la PPNA_{OBS} en los 14 potreros evaluados (PE 2, PE 3, PE 6, PE 7, PE 9, PE 10, PE 13 y PE 15 para la *Img1*; PE 9, PE 13 y PE 14 para la *Img2*; y PE 1, PE 20 y PE 24 para la *Img3*).

Se utilizó la caja de herramientas de corrección atmosférica DOS1 en el software libre QGIS 2.18.14 (QGIS 2013); las bandas utilizadas para el estudio de la vegetación correspondieron al azul (B), rojo (R), el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR 1). Los índices de vegetación generados fueron el NDVI ([Rouse et al. 1973](#)), el EVI ([Huete et al. 1997](#)) y el LSWI ([Xianming Xiao et al. 2004b](#)), de acuerdo con las ecuaciones 1, 2 y 3, respectivamente.

$$NDVI = (NIR-R)/(NIR+R) \quad (1)$$

$$EVI = 2.5 (NIR-R)/[(NIR+(6*R)-(7.6*B))+1] \quad (2)$$

$$LSWI = (NIR-SWIR1)/(NIR+SWIR1) \quad (3)$$

donde: R corresponde a la banda espectral del rojo, NIR a la banda del infrarrojo cercano y la banda SWIR1 al infrarrojo de onda corta de Sentinel 2A.

Estimación de la PPNA a partir de un modelo empírico lineal (MERL)

Para el modelo MERL se utilizó la ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X \quad (4)$$

donde: Y es la PPNA, α el intercepto, β es el valor de la pendiente de la recta y X es el IV, el cual fue NDVI o EVI.

Estimación de la PPNA a partir del modelo de fotosíntesis de la vegetación (VPM)

Según lo descrito por Di Leo et al. ([2007](#)), Liang et al. ([2012](#)) y Gallego et al. ([2017](#)), en la ecuación 5 se usa el VPM en función de la radiación fotosintéticamente activa

(PAR), la fracción de la radiación fotosintéticamente activa (FPAR) y la EUR, y de forma complementaria se adiciona a este modelo un coeficiente de conversión de carbono a materia seca [Coef(ms)] ([White et al. 2000](#)).

$$PPNA_{VPM}(\text{kgDM/ha}) = APAR(PAR*FPAR)*EUR*Coef(ms) \quad (5)$$

La FPAR_{NDVI} (ecuación 6) se calculó a partir de datos de reflectancia de Sentinel 2A como función lineal de NDVI ([Alves 2018](#)) y el FPAR_{EVI} (ecuación 7) se estimó como función lineal de EVI y el coeficiente λ. En este trabajo, λ se estableció para el desarrollo del modelo VPM siguiendo el procedimiento descrito por Xianming Xiao et al. ([2004a](#)), Zheng Wang et al. ([2010](#)) y Madugundu et al. ([2017](#)); mientras que la PAR se obtuvo mediante los datos de radiación global (RG) de la estación meteorológica ubicada en el C.I. Carimagua (Ecuación 8).

$$FPAR_{NDVI} = 0.004 + 0.9843 * NDVI \quad (6)$$

$$FPAR_{EVI} = \lambda * EVI \quad (7)$$

$$PAR = RG * 0.5 \quad (8)$$

El valor máximo de eficiencia (Ε) que se utilizó en este trabajo fue 0.54 gC/MJ, propuesto por Alves ([2018](#)) en pasturas de este mismo género *Urochloa* (ecuación 9), y los factores de regulación descendente Tesc y Wesc fueron estimados usando las ecuaciones 10 y 11, respectivamente ([Zheng Wang et al. 2010](#); [Liang et al. 2012](#); [Madugundu et al. 2017](#)).

$$EUR = \epsilon * Tesc * Wesc \quad (9)$$

$$T_{esc} = \frac{(T-Tmin)(T-Tmax)}{[(T-Tmax)(T-Tmin)] - (T-Topt)^2} \quad (10)$$

$$W_{esc} = \frac{1+LSWI}{1+LSWI_{max}} \quad (11)$$

donde: el *Tesc* representa los efectos de la temperatura sobre la fotosíntesis de la hoja; *Tmin*, *Tmax* y *Topt* son las temperaturas mínima, máxima y óptima para la actividad fotosintética, respectivamente ([Raich et al. 1991](#); [Xianming Xiao et al. 2004a](#); [Liang et al. 2012](#)).

Se acepta que esos parámetros varían según la vía fotosintética de las plantas (C₃ o C₄), el tipo de cultivo, la época (lluvias o seca), la altitud y el ciclo diurno ([Madugundu et al. 2017](#)).

El LSWI_{max} es el valor máximo durante el periodo de crecimiento del pasto utilizado en el estudio (*Urochloa humidicola* CIAT 6133 cultivar 'Llanero'), el mismo que

depende de los datos de teledetección ([Xiao et al. 2004a](#)). El Coef(ms) utilizado en este trabajo fue de 0.00066 kg MS para la conversión de carbono a materia seca ([White et al. 2000](#); [Maselli et al. 2013](#)).

La concordancia entre los datos observados y estimados por los modelos MERL y VPM, se analizó mediante el R², el error cuadrático medio (RMSE) y error relativo de predicción (ER) por medio de las librerías MASS ([Ripley et al. 2024](#)) y Metrics ([Hamner et al. 2022](#)) con el software R (R Core Time 2016).

Resultados

Análisis de los índices de vegetación

Los valores promedio de los índices de vegetación son el resultado de la extracción de 310 pixeles (Resolución espacial de 10 × 10 m) del sensor a bordo de Sentinel 2A, correspondientes al área de cada potrero ([Fernández, 2019](#); [Díaz et al. 2021](#)). Los datos observados de NDVI y EVI tuvieron variaciones similares (Figura 2) en los potreros evaluados (PE), con valores promedios para la *Img1*, *Img2* y *Img3* de 0.694, 0.707 y 0.817 (NDVI) y 0.401, 0.463 y 0.550 (EVI), respectivamente. Estos valores se mantuvieron constantes, en especial en los potreros correspondientes a la *Img1* e *Img2*, pero presentaron un aumento en la respuesta espectral en la *Img3*. Por otro lado, el LSWI presentó valores promedio contantes de 0.235 y 0.240 en los PE de la *Img1* y *Img2*, pero un valor mayor (0.367) en los PE de la *Img3*, lo cual concordó con el aumento en la precipitación (Cuadro 1).

PPNA observado

Los resultados promedio mostraron que la PPNA_{OBS} tendió a aumentar con la fecha de evaluación, lo cual coincidió con el aumento en la precipitación acumulada, la cual cambió de 2.2 a 3.1 y a 7.7 mm a lo largo de los 30 días de rebrote; y los valores correspondientes de PPNA_{OBS} fueron de 501, 626 y 855 kg MS/ha, respectivamente (Cuadro 1).

PPNA estimada por los modelos MERL y VPM

La Figura 3 muestra los valores de producción de PPNA_{OBS} (kg MS/ha) y los obtenidos por los modelos MERL y VPM en cada potrero evaluado. Se observa que los resultados predichos por esos modelos tienden a subestimar la PPNA en comparación a la producción de forraje evaluada en campo, en especial las obtenidas

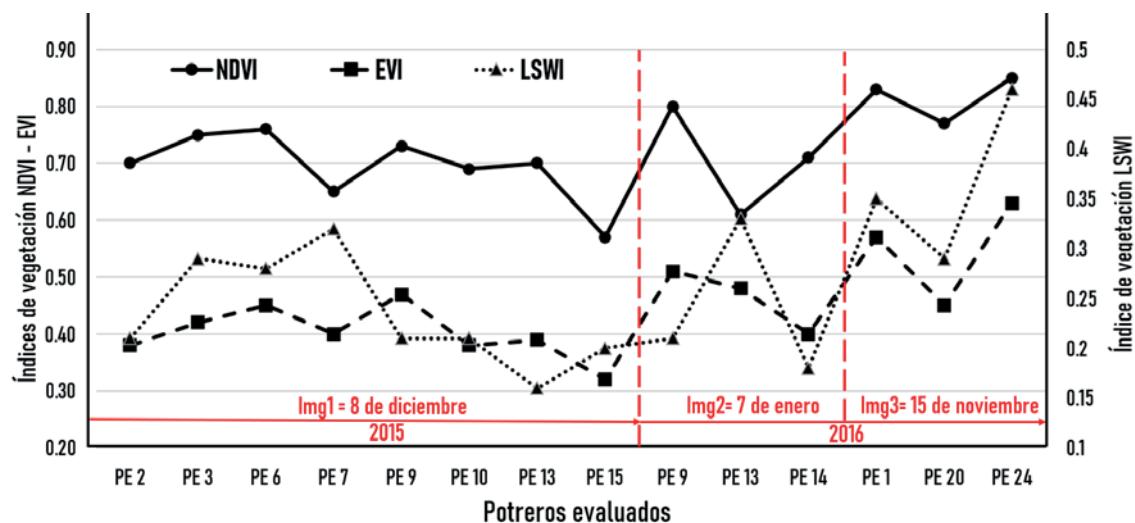


Figura 2. Cambios en los índices de vegetación en las 3 imágenes y potreros evaluados (PE). NDVI= Índice de vegetación de diferencia Normalizada; EVI= Índice de vegetación mejorado; LSWI= Índice de agua en la superficie terrestre; Img= Imágenes obtenidas; PE=Potreros evaluados.

Cuadro 1. Valores de PPNA, PAR y Precipitación para cada uno de los puntos evaluados.

Imagen	PPNA _{OBS}	PPNA _{MERL-NDVI}	PPNA _{MERL-EVI}	PPNA _{VPM-NDVI}	PPNA _{VPM-EVI}	*PAR (MJ/m ²)	*Precipitación (mm)
Img 1	501	529	343	528	442	240	2.2
Img 2	626	557	458	630	481	277	3.1
Img 3	855	792	507	711	608	259	7.7

*Valores acumulados a 30 días

PPNA_{OBS} = es la oferta de forraje evaluada en los potreros; PPNA_{MERL-NDVI} = es la PPNA estimada con el modelo empírico lineal y el índice NDVI; PPNA_{MERL-EVI} = es la PPNA estimada con el modelo empírico lineal y el índice EVI; PPNA_{VPM-NDVI} = es la PPNA estimada con el modelo de fotosíntesis de la vegetación y el índice NDVI; PPNA_{VPM-EVI} = es la PPNA estimada con el modelo de fotosíntesis de la vegetación y el índice EVI.

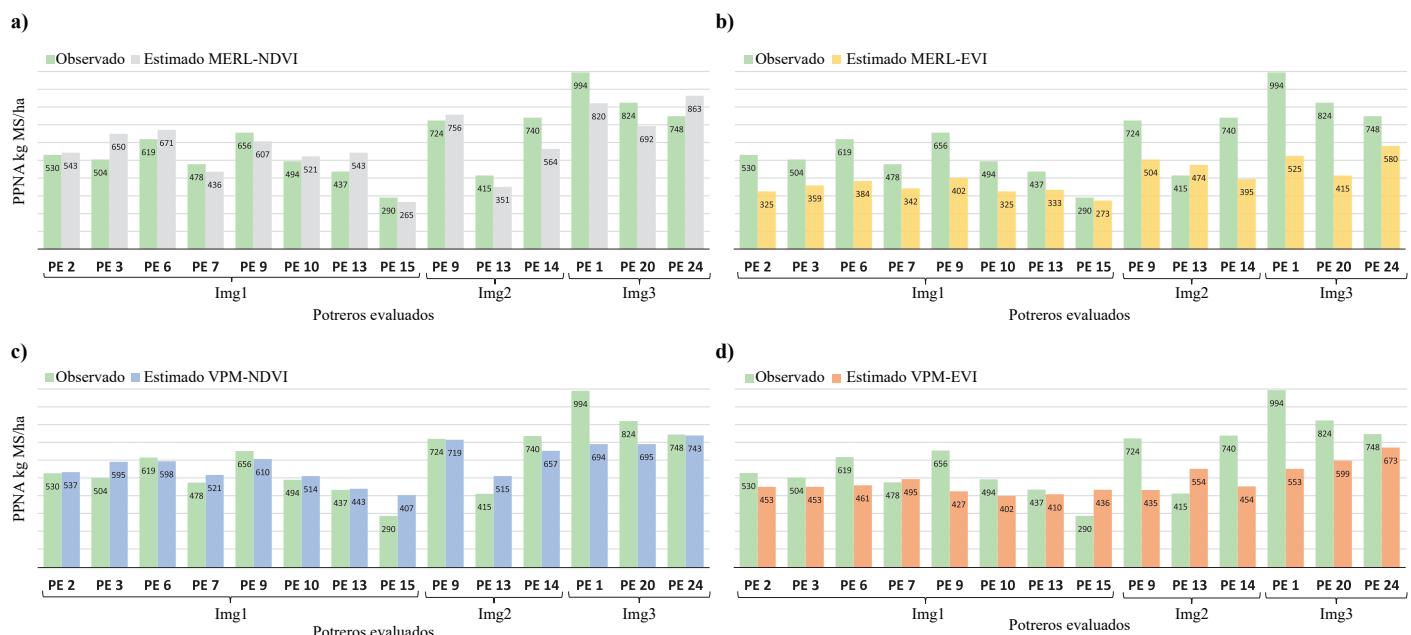


Figura 3. (a) PPNA a partir del modelo MERL-NDVI, (b) PPNA a partir del modelo MERL-EVI, (c) PPNA a partir del modelo VPM-NDVI y (d) PPNA a partir del modelo VPM-EVI.

cuando se utilizó el índice de vegetación EVI. Por otro lado, en la Figura 4 se presentan los valores observados, predichos y el R^2 para los modelos $PPNA_{MERL-NDVI}$ y $PPNA_{MERL-EVI}$, para los que se obtuvo un R^2 de 0.68 y 0.45, respectivamente, indicando que el mejor ajuste correspondió al modelo $PPNA_{MERL-NDVI}$.

En el caso de los modelos con VPM, se observó que el modelo $PPNA_{VPM-NDVI}$ estimó con mayor precisión la

oferta de forraje que el modelo $PPNA_{VPM-EVI}$ ($R^2 = 0.798$ y 0.489, respectivamente) (Figura 5). En ambos modelos (MERL y VPM), el mejor ajuste se logró cuando se utilizó el índice de vegetación NDVI en lugar del EVI.

Los modelos de predicción del PPNA usando el NDVI presentaron menores valores de RMSE y RE (99.15 y 16.42%, respectivamente) para MERL, comparado con 103.62 y 17.16% para VPM (Cuadro 2).

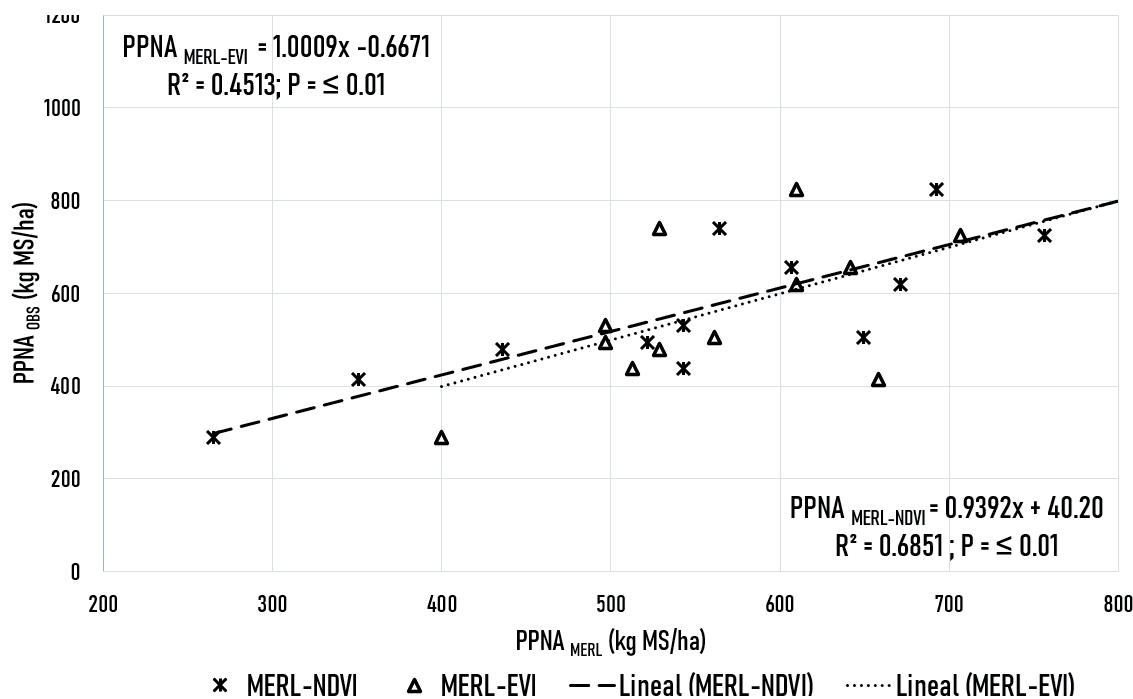


Figura 4. Ajuste entre los valores de PPNA observados y los calculados con el modelo MERL.

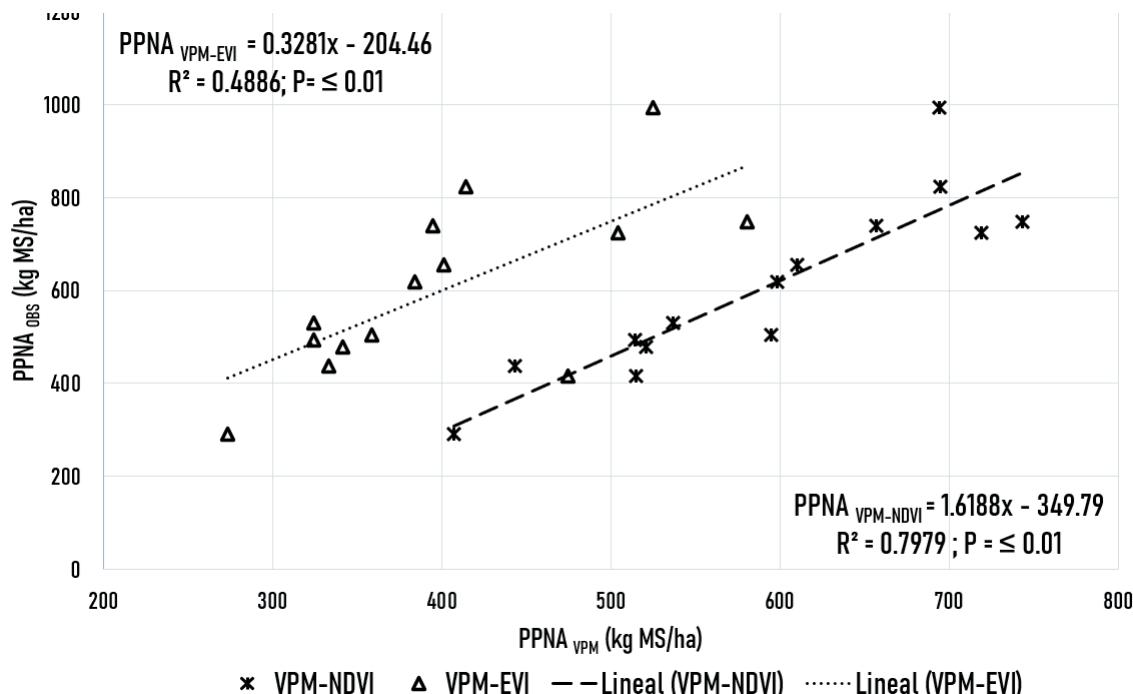


Figura 5. Ajuste entre los valores de PPNA observados y los calculados con el modelo VPM.

Cuadro 2. Criterios de selección para los modelos.

Modelo	RMSE	RE %
PPNA _{MERL-NDVI}	99.15	16.42
PPNA _{MERL-EVI}	129.41	21.43
PPNA _{VPM-NDVI}	103.62	17.16
PPNA _{VPM-EVI}	243.17	40.28

Discusión

La modelación se entiende como la representación simplificada y a escala de un fenómeno que se pretende describir, analizar su comportamiento o predecir su desempeño ([Trinchet et al. 2014](#)). Para la modelación de fenómenos agronómicos es necesario reconocer cuál o cuáles son los factores determinantes para que el conjunto del fenómeno se exprese en uno u otro sentido. Así las cosas, tanto el modelo empírico lineal (MERL) como el modelo de fotosíntesis de la vegetación (VPM), involucran el índice de vegetación (IV) como factor relevante para describir el fenómeno. En el presente estudio, para tal fin se utilizaron el NDVI y EVI obtenidos a partir de imágenes satelitales del Programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Análisis de los índices de vegetación

Los índices de vegetación NDVI y EVI son complementarios, con algunas diferencias de magnitud que pueden ser atribuibles a su origen; así, mientras que el NDVI es la diferencia normalizada sensible a la clorofila, el EVI responde a variaciones en la estructura del tamaño del dosel, forma, orientación y distribución posicional de varios órganos vegetales, y la cantidad de área foliar por unidad de suelo, también conocido como índice de área foliar (LAI) ([Norman y Campbell 1989](#)). Aunque las variaciones en las estructuras foliares y su efecto en los coeficientes de extinción de la radiación en el dosel han sido estudiadas para especies arbustivas y arbóreas como el café ([Unigarro et al. 2016](#)), y también se conocen para algunas especies herbáceas ([Zheng Wang et al. 2010; Peters et al. 2022](#)), en este estudio no se incluyeron en los modelos VPM.

Los resultados obtenidos en este estudio para NDVI y EVI son consistentes con lo reportado por Posada-Asprilla et al. ([2019](#)) en un ensayo con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. Ex Chiov) Morrene) en el departamento de Antioquia (Colombia), quienes encontraron valores promedio para el NDVI y EVI de 0.81 y 0.69. Por otro lado, Ramírez ([2013](#)) y Bastidas

et al. ([2016](#)) encontraron valores de NDVI de 0.81 y rangos entre 0.40–0.80 para esa misma pastura, usando imágenes obtenidas con el sensor del satélite Landsat 8. Asimismo, Díaz et al. ([2021](#)), en el pasto *Urochloa humidicola* cultivar 'Llanero', reportaron valores de NDVI de 0.67 y 0.69 derivados de los sensores de Landsat 8 y Sentinel 2A, respectivamente. Por otro lado, con el sensor del Landsat 8, Alves ([2018](#)) obtuvo un valor promedio de 0.66 para el NDVI en *Urochloa brizantha*, trabajando en el estado Goiás, Brasil.

El índice LSWI utiliza para su cálculo las regiones del infrarrojo de onda corta (SWIR) y del infrarrojo cercano (NIR). En general, las hojas muestran una alta reflectividad en el infrarrojo cercano y presentan bandas de absorción en longitudes de onda de 1.45, 1.92 y 2.7 μm, atribuidas al contenido de agua en las hojas ([Chuvieco 2002](#)). En este estudio los valores de LSWI tuvieron una mayor independencia frente a los valores de NDVI observados en los potreros PE 7, PE 9 y PE 15 que correspondieron a la *Img1* asociada a un rebrote de 30 días con una precipitación acumulada de 2.2 mm (Tabla 1). Igual comportamiento se observó en los puntos de evaluación PE 13 y PE 14 correspondientes a la segunda fecha de muestreo (*Img2*), con valores de precipitación acumulada de 3.1 mm. El LSWI en los PE 1, PE 20 y PE 24 de la tercera fecha de evaluación (*Img3*) mostró valores más altos que en los PE de las fechas de muestreo anteriores, lo cual puede estar asociado al aumento de aporte hídrico que llegó al mesófilo de las hojas, debido a la mayor precipitación acumulada (7.7 mm), lo cual debe haber influenciado la reflectancia de la planta.

PPNA observado

Los estimados de producción de biomasa obtenidos de este estudio son similares a los reportados por Rincón et al. ([2018](#)) para pasturas de *Urochloa humidicola* cultivar 'Llanero' en el Piedemonte del Meta. Ellos reportaron producciones de 613 kg MS/ha (sin fertilización) y de 665 kg MS/ha (con fertilización) para la época seca, en pasturas con 21 días de descanso.

De forma similar Pérez et al. ([2019](#)) encontraron, en las mismas áreas de pastoreo cubiertas por este estudio, producciones de forraje promedio para la época seca de 645.7 kg MS/ha en pasturas de *Urochloa humidicola* cultivar 'Llanero' manejadas con períodos de descanso de 30 a 40 días, a lo largo de 6 años de evaluación. De igual forma Carulla et al. ([1991](#)) encontraron producciones de 669 kg MS/ha para este mismo periodo de descanso; mientras que Pardo y Pérez ([2010](#)) reportaron una oferta

superior (1,365 kg MS/ha) en pasturas de *Urochloa humidicola* cultivar 'Llanero' durante la temporada seca, en condiciones del Piedemonte del Meta.

PPNA estimada por los modelos MERL y VPM

Los valores promedios de PPNA observados y estimados, así como la precipitación, aumentaron gradualmente a lo largo del estudio (Tabla 1). Este comportamiento no fue seguido por la PAR, que mostró en la *Img3* un menor valor de radiación en comparación con la *Img2*. Esta disminución en la radiación no afectó la producción de forraje, sino que al contrario se observó un incremento de la oferta forrajera que puede ser explicada por la precipitación; lo cual sugiere que, en condiciones de limitada disponibilidad hídrica, el aumento de la PAR no resulta necesariamente en un incremento en el crecimiento del forraje.

En la Figura 3 se observa que los modelos $PPNA_{MERL-EVI}$ (b) y $PPNA_{VPM-EVI}$ (d) tendieron a subestimar la producción de forraje. Esto puede obedecer a lo reportado por Garrouette et al. (2016), quienes encontraron que la precisión de estos modelos fue más baja en pastizales con inicio tardío del crecimiento, en agricultura de regadío y después de que ocurría el pico en la producción de biomasa. Además, los mismos autores concluyeron que los modelos lineales con el NDVI presentaban mejor relación con la oferta y la calidad de la fitomasa, en comparación a los modelos lineales en que se usaba el EVI.

Cuando el NDVI es utilizado para estimar la FPAR, es posible que cuando hay suficiente precipitación se presente saturación como producto del aumento de hojas verdes en la pastura. En ese sentido, Piazza (2012) y Grigera (2011) indicaron que la principal fuente de variabilidad de la PPNA en pasturas es la fracción de la radiación fotosintéticamente activa (FPAR), la cual está relacionada a parámetros estructurales tales como el índice de área foliar y el ángulo de inclinación de las hojas.

Sin embargo, en estudios para estimar la producción de maíz, Chen et al. (2005) observaron que el EVI funcionaba mejor que el NDVI. Por otro lado, Li et al. (2007) encontraron que cuando las plantas crecían bien, el EVI mejoraba la sensibilidad en áreas con vegetación donde el NDVI estaba saturado, lo que sería útil para monitorear el estado de crecimiento de las plantas. En contraste, en estudios realizados en arroz con MODIS y el índice EVI (Son et al. 2014) mostraron que las predicciones de rendimiento con EVI fueron ligeramente más precisas que con NDVI, con coeficientes de determinación (R^2) que iban desde 0.62 a 0.71 para el periodo primavera-invierno y de 0.40 a

0.56 para el periodo verano-otoño. De forma similar Diaz et al (2021), trabajando con imágenes Landsat 8 en pasturas de *U. humidicola* cultivar 'Llanero' encontraron que el EVI presentó un mejor ajuste lineal ($R^2 = 0.721$) en la estimación de disponibilidad de forraje en la pastura, que cuando se usó el NDVI ($R^2 = 0.628$).

En resumen, los resultados de este estudio sugieren que los modelos MERL y VPM tienen potencial para apoyar la estimación de la PPNA de áreas con pasturas de *Urochloa humidicola* cultivar 'Llanero', a partir de imágenes Sentinel 2A, en condiciones edafoclimáticas similares a las predominantes en la Altillanura colombiana. Algo similar fue reportado por Díaz et al (2021) en la misma zona cuando usaron índices de vegetación (IV) provenientes de imágenes de Landsat 8 y Sentinel 2A, utilizando modelos MERL.

Por otro lado, en estudios más recientes trabajando con el mismo pasto *Urochloa humidicola* cultivar 'Llanero' en condiciones de la subregión del Piedemonte Llanero, Díaz et al (2023) estimaron la oferta de forraje y el contenido de proteína cruda usando Modelos Aditivos Generalizados (GAM), y obtuvieron valores de R^2 de 0.788 y 0.764, respectivamente. Por su parte, Anaya et al. (2009) evaluaron la productividad de biomasa aérea a partir de imágenes satelitales del sensor MODIS para diferentes condiciones a nivel de Colombia, y concluyeron que es posible establecer modelos predictivos para la PPNA a partir de índices de vegetación (IV). Todo esto confirma que los sensores remotos, gracias a sus propiedades ópticas (NDVI), se constituyen en una herramienta práctica y cada vez más accesible para el estudio de las variaciones espaciales y temporales de las coberturas pastoriles en grandes áreas, lo cual resulta de utilidad para la toma de decisiones en la gestión de sistemas pastoriles.

Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que es posible estimar de forma satisfactoria la PPNA en pasturas utilizando imágenes Sentinel 2A, a partir de los modelos MERL y VPM, especialmente cuando se incluye el índice NDVI, por lo que constituye una alternativa de análisis espacial para la gestión de grandes extensiones de pasturas.

La aplicación del VPM en este estudio es un aporte novedoso, ya que existen pocos trabajos previos de este tipo en condiciones de la Altillanura colombiana, y el método permite tomar en cuenta los índices de vegetación, e incluir un conjunto de parámetros biofísicos como la radiación global, la radiación fotosintéticamente activa

y sus factores (absorción, eficiencia y atenuación), lo cual no solo sirve para análisis de tipo productivo, sino también de tipo ecosistémico, como es la estimación de la fijación de carbono (PPN).

Agradecimientos

Este artículo es un tributo al Dr. Mauricio Álvarez de León, nuestro querido amigo y mentor y co-autor del presente estudio, cuyo legado perdura en cada aspecto de esta investigación. Su dedicación a la ciencia y su compromiso con la excelencia continúan inspirándonos. Recordamos al Dr. Alvarez con profundo respeto, gratitud y cariño.

Este estudio fue financiado con recursos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Se agradece la cooperación y apoyo brindado por el personal técnico y administrativo del Centro de Investigación Carimagua de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Referencias

(Nota de los editores: Enlaces verificados el 12 de enero de 2024).

- Alves Veloso, G. 2018. Produtividade primária bruta e biomassa em pastagem no bioma cerrado: uma análise a partir dos modelos SEBAL/CASA e MOD17 no estado de Goiás. Tesis de doctorado. Universidad Federal de Goiás, Goiânia Brasil. [repository.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8625](https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8625)
- Anaya J; Chuvieco E; Palacios-Orueta A. 2009. Above-ground biomass assessment in Colombia: A remote sensing approach. Forest Ecology and Management 257(4):1237–1246. doi: [10.1016/j.foreco.2008.11.016](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.11.016)
- Awaya Y; Kodani E; Tanaka K; Liu I; Zhuang D; Meng Y. 2004. Estimation of the global net primary productivity using NOAA images and meteorological data: changes between 1988 and 1993. International Journal of Remote Sensing 25(9):1597–1613. doi: [10.1080/0143116031000139782](https://doi.org/10.1080/0143116031000139782)
- Bastidas A; Barahona R; Cerón-Muñoz M. 2016. Variation in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in dairy farms in northern Antioquia. Livestock Research for Rural Development 28(3):Article #43. [bit.ly/47HuJba](https://doi.org/10.4257/97.00104-1)
- Carlson TN; Ripley DA. 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. Remote Sensing of Environment 62(3):241–52. doi: [10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
- Carulla JE; Lascano CE; Ward JK. 1991. Selectivity of resident and oesophageal fistulated steers grazing *Arachis pintoi* and *Brachiaria dictyoneura* in the Llanos of Colombia. Tropical Grasslands 25:317-324. [bit.ly/3vCgyLd](https://doi.org/10.1080/0143116031000139782)
- Chen PY; Fedosejevs G; Tiscareño-López M; Arnold JG. 2005. Assessment of MODIS-EVI, MODIS-NDVI and VEGETATION-NDVI composite data using agricultural measurements: An example at corn fields in Western Mexico. Environmental Monitoring and Assessment 119:69–82. doi: [10.1007/s10661-005-9006-7](https://doi.org/10.1007/s10661-005-9006-7)
- Chuvieco E. 2002. Teledetección ambiental. 1a. ed. Editorial Ariel, Barcelona, España. ISBN: 84-344-8047-6
- Cook BG; Schultze-Kraft R. 2015. Botanical name changes – nuisance or a quest for precision? Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 3:34–40. doi: [10.17138/TGFT\(3\)34-40](https://doi.org/10.17138/TGFT(3)34-40)
- Cristiano PM; Posse G; Di Bella CM; Boca T. 2012. Influence of contrasting availabilities of water and nutrients on the radiation use efficiency in C₃ and C₄ grasses. Austral Ecology 37(3):323–329. doi: [10.1111/j.1442-9993.2011.02296.x](https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02296.x)
- Díaz RA; Alvarez M; Pérez O; Gutiérrez B; Villalobos M. 2019. Uso de sensores remotos en la determinación de la oferta de forraje del pasto *Brachiaria humidicola* subsp. *dictyoneura* bajo pastoreo en la Altillanura colombiana. Actas del 42º Congreso Argentino de Producción Animal. Revista Argentina de Producción Animal 39(1):99–167.
- Díaz RA; Alvarez M; Pérez O. 2021. Uso de sensores remotos en la determinación del forraje disponible de *Urochloa humidicola* cv. Llanero bajo pastoreo en la Altillanura colombiana. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales. 9(3):376–382. doi: [10.17138/TGFT\(9\)376-382](https://doi.org/10.17138/TGFT(9)376-382)
- Díaz RA; Álvarez M; Rincón A; Pérez O; Cárdenas E; Posada W. 2023. Estimación de la disponibilidad de forraje y de parámetros asociados a la calidad nutricional del pasto *Urochloa humidicola* cv Llanero a partir de imágenes multiespectrales. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 11(1):61–74. doi: [10.17138/TGFT\(11\)61-74](https://doi.org/10.17138/TGFT(11)61-74)
- Di Leo N; Montico S; Bonel B; Denoia JA. 2007. Estimación de la APAR y la NPP mediante sensoramiento remoto en tres sectores de la Pampa Húmeda, Argentina. Ciencia, Docencia y Tecnología 18(35):221–242. [bit.ly/47HuM6Q](https://doi.org/10.4257/97.00104-1)
- Dungan J. 1998. Spatial prediction of vegetation quantities using ground and image data. International Journal of Remote Sensing 19(2):267–285. doi: [10.1080/014311698216242](https://doi.org/10.1080/014311698216242)
- Fernández B. 2019. Producción de cartografía agrícola mediante análisis multitemporal de imágenes satélite (Sentinel-2) y cartografía catastral. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. hdl.handle.net/10251/114801
- Gallego F; Lezama F; Pezzani F; López-Mársico L; Leoni E; Mello A; Costa B. 2017. Estimación de la productividad primaria neta aérea y capacidad de carga ganadera: un estudio de caso en Sierras del Este, Uruguay. Agrociencia 21(1):120–130. [bit.ly/3ShTm9R](https://doi.org/10.4257/97.00104-1)
- Garrouette E; Hansen A; Lawrence R. 2016. Using NDVI and EVI to map spatiotemporal variation in the biomass and quality of forage for migratory elk in the Greater Yellowstone Ecosystem. Remote Sensing 8(5):404. doi: [10.3390/rs8050404](https://doi.org/10.3390/rs8050404)
- Grigera G. 2011. Seguimiento de la productividad forrajera mediante teledetección: desarrollo de una herramienta de manejo para sistemas de producción ganaderos. Tesis de doctorado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. [bit.ly/4aSuNYe](https://doi.org/10.4257/97.00104-1)

- Hamner B; Frasco M; LeDell E. 2022. Evaluation metrics for machine learning - R Package ‘Metrics’. github.com/mfrasco/Metrics
- Huete AR; Liu HQ; Batchily K; Van Leeuwen WJD. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 59(3):440–451. doi: [10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- Huete A; Didan K; Miura T; Rodriguez EP; Gao X; Ferreira LG. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83(1-2):195–213. doi: [10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Kawamura K; Akiyama T; Yokota H; Tsutsumi M; Yasuda T; Watanabe O; Wang S. 2005. Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107(1):83–93. doi: [10.1016/j.agee.2004.09.008](https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.09.008)
- Liang Shunlin; Xiaowen Li; Wang Jindi. 2012. Chapter 16 - Vegetation Production in Terrestrial Ecosystems. En Liang Shunlin; Xiaowen Li; Wang Jindi, eds. *Advanced Remote Sensing*. Academic Press, Oxford, UK, p. 501–531. doi: [10.1016/B978-0-12-385954-9.00016-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385954-9.00016-2)
- Li Hongjun; Zheng Li; Lei Yuping; Li Chunqiang; Zhou Kan. 2007. Comparison of NDVI and EVI based on EOS/MODIS data (en japonés). *Progress in Geography* 26(1):26–32. doi: [10.11820/dlkxjz.2007.01.003](https://doi.org/10.11820/dlkxjz.2007.01.003)
- Madugundu R; Al-Gaadi K; Tola E; Kayad A; Sekhar Jha C. 2017. Estimation of gross primary production of irrigated maize using Landsat-8 imagery and Eddy Covariance data. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24(2):410–420. doi: [10.1016/j.sjbs.2016.10.003](https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.10.003)
- Marshall M; Tu K; Brown, J. 2018. Optimizing a remote sensing production efficiency model for macro-scale GPP and yield estimation in agroecosystems. *Remote Sensing of Environment* 217:258–271. doi: [10.1016/j.rse.2018.08.001](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.001)
- Maselli F; Argenti G; Chiesi M; Angeli L; Papale D. 2013. Simulation of grassland productivity by the combination of ground and satellite data. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 165:163–172. doi: [10.1016/j.agee.2012.11.006](https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.11.006)
- Monteith J. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9(3):747–766. doi: [10.2307/2401901](https://doi.org/10.2307/2401901)
- Norman JM; Campbell GS. 1989. Canopy structure. In: Pearcy RW, Ehleringer JR, Mooney HA, Rundel PW, eds. *Plant Physiological Ecology*. Springer, Dordrecht, Netherlands. p. 301–325 doi: [10.1007/978-94-009-2221-1_14](https://doi.org/10.1007/978-94-009-2221-1_14)
- Ollinger SV. 2011. Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. *New Phytologist* 189(2):375–394. doi: [10.1111/j.1469-8137.2010.03536.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03536.x)
- Pardo O; Pérez O. 2010. Alternativas forrajeras para los llanos orientales de Colombia. En: Rincón A; Jaramillo CA, eds. *Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Villavicencio, Colombia, p. 27–70. hdl.handle.net/20.500.12324/12703
- Pérez O; Bueno G; Eurípides J; Onofre G; Cassalet E; Molina A; Arango M; Velásquez J; Rodríguez N; Moreno L; Amaya C; Bernal J; Correal W; Pabón D; Villalobos M; Velásquez H; Fuentes J. 2019. Modelo productivo tecnologías integrales para sistemas de producción de bovinos de cría en la altillanura colombiana. Agrosavia, Mosquera, Colombia. doi: [10.21930/agrosavia.model.7402681](https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7402681)
- Paruelo JM; Oesterheld M; Di Bella C; Arzadum M; Lafountain J; Cahuepé M; Rebella CM. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science* 3(2):189–195. doi: [10.2307/1478997](https://doi.org/10.2307/1478997)
- Paruelo JM; Oyarzabal M; Oesterheld M. 2011. El seguimiento de los recursos forrajeros mediante sensores remotos: bases y aplicaciones. En: Altesor A; Ayala W; Paruelo JM, eds. *Bases Ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Montevideo, Uruguay. p. 136–145. bit.ly/3SiumiO
- Peters KC; Hughes MP; Daley O. 2022. Field-scale calibration of the PAR Ceptometer and FieldScout CM for real-time estimation of herbage mass and nutritive value of rotationally grazed tropical pasture. *Smart Agricultural Technology*. 2: 100037. doi: [10.1016/j.atech.2022.100037](https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100037)
- Pezzani F; Lezama F; Gallego F; López-Márisco L; Leoni E; Costa B; Parodi G; Mello AL. 2017. El método de corte de biomasa genera mayores diferencias en la estimación de la productividad de pastizales que el tipo de pastizal. *Revista Argentina de Producción Animal* 37(1):21–32. hdl.handle.net/20.500.12008/24395
- Piazza MV. 2012. Estimación satelital de la productividad primaria neta aérea de la vegetación herbácea del Caldenal. Tesis de grado. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. bit.ly/41YWn27
- Posada-Asprilla W; Medina-Sierra M; Cerón-Muñoz M. 2019. Estimación de la calidad y cantidad de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) usando imágenes multiespectrales. *Revista U.D.C.A* 22(1):e1195. doi: [10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195](https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195)
- QGIS - Un sistema de información geográfica libre y de código abierto. 2023. qgis.org
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. Version 4.0.0 2020-04-24. [R-project.org](https://www.R-project.org)
- Raich JW; Rastetter EB; Melillo JM; Kicklighter DW; Steudler PA; Peterson BJ; Grace AL; Moore B; Vorosmarty CJ. 1991. Potential net primary productivity in South America: application of a global model. *Ecological Applications* 1(4):399–429. doi: [10.2307/1941899](https://doi.org/10.2307/1941899)
- Ramírez A. 2013. Evaluación del crecimiento de pastos usando índices de vegetación calculados a partir de información satelital. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75325
- Rincón A. 2011. Efecto de alturas de corte sobre la producción

- de forraje de *Brachiaria* sp. en el Piedemonte Llanero de Colombia. Ciencia y Tecnología Agropecuaria 12(2):107–112. doi: [10.21930/rcta.vol12_num2_art:219](https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:219)
- Rincón A; Álvarez M; Pardo O; Amaya MA; Díaz RA. 2019. Estimación de la concentración de clorofila y su relación con la concentración de proteína cruda en tres especies del pasto *Urochloa* en el Piedemonte Llanero, Colombia. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 7(5):533–537. doi: [10.17138/tgft\(7\)533-537](https://doi.org/10.17138/tgft(7)533-537)
- Rincón A; Flórez H; Ballesteros H; León M. 2018. Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales 6(3):158–168. doi: [10.17138/tgft\(6\)158-168](https://doi.org/10.17138/tgft(6)158-168)
- Rincón A; Caicedo S. 2010. Establecimiento de pastos en sistemas ganaderos de los llanos colombianos. En: Rincón A; Jaramillo CA, eds. Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Villavicencio, Meta, Colombia, p. 75–112. hdl.handle.net/20.500.12324/12703
- Ripley BD; Venables B; Bates D; Hornik K; Gebhardt A; Firth D. 2024. Package “MASS”. Version 7.3-57. bit.ly/3XLpN0h
- Rivas L; Holmann F. 2004. Impacto de la adopción de híbridos de *Brachiaria* resistentes al salivazo, Colombia, México y Centroamérica. Documento de Trabajo No. 195. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. hdl.handle.net/10568/54333
- Rosa R; Sano E. 2013. Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS, GeoFocus 13(1):367-395. bit.ly/48Rb2yj
- Rouse JW; Haas RH; Schell JA; Deering DW. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium. NASA Special Publication 351(1): 309–317. ntrs.nasa.gov/citations/19740022614
- Son NT; Chen CF; Chen CR; Minh VQ; Trung NH. 2014. A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation. Agricultural and Forest Meteorology 197:52–64. doi: [10.1016/j.agrformet.2014.06.007](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.007)
- Hao Shi; Longhui Li; Eamus D; Huete A; Cleverly J; Xin Tian; Qiang Yu; Shaoqiang Wang; Montagnani L; Magliulo V; Rotenberg E; Pavelka M; Carrara A. 2017. Assessing the ability of MODIS EVI to estimate terrestrial ecosystem gross primary production of multiple land cover types. Ecological Indicators 72:153–164. doi: [10.1016/j.ecolind.2016.08.022](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.08.022)
- Subhashree SN; Igathinathane C; Akyuz A; Borhan MD; Hendrickson J; Archer D; Liebig M; Toledo D; Sedivec K; Kronberg S; Halvorson J. 2023. Tools for predicting forage growth in rangelands and economic analyses—A systematic review. Agriculture 13(2):455. doi: [10.3390/agriculture13020455](https://doi.org/10.3390/agriculture13020455)
- Trinchet C; Selva AL; Trinchet R; Silva M; Píris A. 2014. La modelación de los objetos y procesos como método para validar los resultados de la investigación científica. Panorama Cuba y Salud 9(1):29–34. bit.ly/4b6ixnc
- Tucker CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment 8(2):127–150. doi: [10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Tucker CJ; Vanpraet C; Boerwinkel E; Gaston A. 1983. Satellite remote-sensing of total dry-matter production in the Senegalese Sahel. Remote Sensing of Environment 13(6):461–474. doi: [10.1016/0034-4257\(83\)90053-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(83)90053-6)
- Unigarro-Muñoz CA; Jaramillo-Robledo A; Ibarra-Ruales LN; Flórez-Ramos CP. 2016. Estructura del dosel y coeficientes de extinción teóricos en genotípos de café arábico en Colombia. Acta Agronómica 65(4):383–389. doi: [10.15446/acag.v65n4.51899](https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.51899)
- White MA; Thornton PE; Running SW; Nemani RR. 2000. Parameterization and sensitivity analysis of the BIOME-BGC Terrestrial Ecosystem Model: Net primary production controls. Earth Interactions 4(3):1–85. doi: [10.1175/1087-3562\(2000\)004<0003:PASAOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1087-3562(2000)004<0003:PASAOT>2.0.CO;2)
- Wu WeiXing; Wang ShaoQiang; Xiao XiangMing; Yu GuiRui; Fu YuLing; Hao YanBin. 2008. Modeling gross primary production of a temperate grassland ecosystem in Inner Mongolia, China, using MODIS imagery and climate data. Science in China. Series D 51(10):1501–1512. doi: [10.1007/s11430-008-0113-5](https://doi.org/10.1007/s11430-008-0113-5)
- Xianming Xiao; Qingyuan Zhang; Hollinger D; Aber J; Moore III B. 2004a. Modeling gross primary production of an evergreen needleleaf forest using Modis and climate data. Ecological Applications 15:954–969. [jstor.org/stable/4543407](https://www.jstor.org/stable/4543407)
- Xianming Xiao; Hollinger D; Aber J; Goltz M; Davidson EA; Qingyuan Zhang; Moore III B. 2004b. Satellite-based modeling of gross primary production in an evergreen needle leaf forest. Remote Sensing of Environment 89(4):519–534. doi: [10.1016/j.rse.2003.11.008](https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.008)
- Yuchao Yan; Xiaoping Liu; Jinpei Ou; Xia Li; Youyue Wen. 2018. Assimilating multi-source remotely sensed data into a light use efficiency model for net primary productivity estimation. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 72:11–25. doi: [10.1016/j.jag.2018.05.013](https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.013)

Zheng Wang; Xiangming Xiao; Xiaodong Yan. 2010.
Modeling gross primary production of maize cropland and
degraded grassland in northeastern China. Agricultural

and Forest Meteorology 150(9):1160–1167. doi: [10.1016/j.agrformet.2010.04.015](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.015)

(Recibido para publicación 19 enero 2023; aceptado 22 septiembre 2023; publicado 31 de enero 2024)

© 2024



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales una revista de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, en asociación con el *Instituto de Recursos Genéticos de Cultivos Tropicales de la Academia China de Ciencias Agrícolas Tropicales (TCGRI-CATAS)*. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Nota Técnica

Caracterización morfo-productiva de materiales de *Tithonia diversifolia* recolectados en el estado de Chiapas, México

Morpho-productive characterization of Tithonia diversifolia accessions collected in the state of Chiapas, Mexico

JATNEL ALONSO LAZO¹, REYNOL GRAJALES ZEPEDA², ROQUE HERNANDEZ LOPEZ², LORENZO PERES SOTO², LAZARO CASTRO HERNANDEZ¹ Y MARIA ERENDIDA REYES GRACIA²

¹*Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.*

²*Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Autónoma de Chiapas, México. veterinaria.unach.mx*

Resumen

Tithonia diversifolia se ha difundido en los sistemas de producción animal en América Latina, pero las investigaciones muestran que existe gran variabilidad genética entre los materiales silvestres recolectados. El objetivo de este trabajo fue caracterizar morfológica y productivamente materiales de *T. diversifolia* recolectados en el noreste del estado Chiapas (México). Las recolectas incluyeron semillas y esquejes. Con las semillas se realizó un bioensayo de germinación y con los esquejes un experimento en campo con evaluaciones a los 90, 120 y 150 días de crecimiento. En ambos casos se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 3 y 13 repeticiones, respectivamente. Se recolectaron 34 materiales y se georreferenciaron las localidades de su procedencia. Doce presentaron semillas al momento de la recolecta. Todas las semillas mostraron capacidad germinativa. El mayor porcentaje de germinación (32.7 %) lo alcanzó el material # 32 mientras que el # 33 mostró el menor valor (0.7 %). El 50 % de los materiales recolectados tuvieron un índice de velocidad de emergencia (IVE) superior a 0.5, pero 5 no se reprodujeron en campo. Los materiales # 24 y 29 alcanzaron mayor altura y número de hojas por planta. El grupo con mayor producción de materia verde por planta (10.29 kg) estuvo conformado por los materiales # 14 y # 24. Las variables morfológicas y productivas posibilitaron conformar 3 grupos de materiales vegetales los cuales se pueden introducir en diferentes alternativas para la producción animal en el estado de Chiapas (México).

Palabras clave: Capacidad germinativa, germoplasma, producción de biomasa, sistemas silvopastoriles, valuación.

Abstract

Tithonia diversifolia is widespread in animal production systems in Latin America; however, research results show high genetic variability among collected wild materials. The objective of this work was to characterize materials of *T. diversifolia* collected in the northeast of Chiapas (Mexico), in terms of morphology and production. The collections included seeds and cuttings. A germination bioassay was conducted with the seeds, and a field experiment run with the cuttings was evaluated at 90, 120 and 150 days of growth. In both cases, a completely randomized design with 3 and 13 repetitions, respectively, was used. Thirty-four materials were collected, and their localities of origin were georeferenced. Twelve materials had seeds at the time of collection. All seeds showed germination capacity. Material # 32 achieved the highest germination (32.7 %), while # 33 had the lowest value (0.7 %). Fifty percent of the materials had an emergence speed index (IVE) greater than 0.5; however, 5 of the materials did not reproduce in the field. Materials # 24 and # 29 were the tallest and had the highest number of leaves per plant. The group with the highest production of green matter/plant (10.29 kg) included materials # 14 and # 24. Morphological and production variables were used to

Correspondencia: Jatnel Alonso Lazo, Instituto de Ciencia Animal,
Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
Correo electrónico: jatnelalonso72@gmail.com

identify 3 groups of materials which could be used in different animal production system options in Chiapas (Mexico).

Keywords: Evaluation, germplasm, seed germination capacity, biomass production, silvopastoral systems

Introducción

Las condiciones ecológicas del trópico favorecen el desarrollo pecuario al implementar tecnologías de producción basadas en el uso de la biodiversidad presente en la región. Dentro de estas tecnologías, los sistemas silvopastoriles intensivos con árboles y arbustos forrajeros tienen un potencial alto.

En América Latina, el uso de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en estos sistemas ha permitido lograr una mayor cantidad y calidad de biomasa forrajera ([Alonso y Ruiz 2017](#)), incrementos en la producción animal ([Ribeiro et al. 2017](#)) y ha contribuido a disminuir los efectos negativos de la producción pecuaria sobre el medio ambiente ([Rivera et al. 2016](#)).

T. diversifolia es una planta de la familia Asteraceae originaria de México y Centroamérica ([Santos-Gally et al. 2020](#)), pero que se encuentra distribuida ampliamente en toda Latino América y el Caribe ([Murgueitio 2022](#)). Los estudios genéticos realizados en la especie muestran una amplia diversidad genética en materiales silvestres ([Del Val et al. 2017; Rivera et al. 2019](#)), lo cual confiere un alto potencial adaptativo para las poblaciones de la especie. Su variabilidad se refleja al evaluar agronómicamente materiales vegetales recolectados en diversas condiciones agroclimáticas ([Ruiz et al. 2017; Rodríguez et al. 2019](#)), por lo que Holguín et al. ([2015](#)) sugieren la necesidad de identificar, caracterizar y seleccionar materiales con mayor capacidad adaptativa, reproductiva y productiva dentro de la especie, como base para optimizar su uso en los sistemas de producción animal.

En este sentido, el objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización morfo-productiva de materiales de *T. diversifolia* recolectados en el estado Chiapas (México).

Materiales y Métodos

Localización del área de estudio: El trabajo se desarrolló en las praderas experimentales y demostrativas de la Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa de la Universidad Autónoma de Chiapas, localizada en el km 4.5 de la carretera Copainalá- Tecpatán entre los 17°04'48.6" N, 93°13'30.1" O, a 450 msnm. ([INEGI 2022](#)). La localización de los sitios donde se realizaron

las recolectas se presenta en la Figura 1, y detalles de estos y de los materiales recolectados se describen en el Cuadro 1.

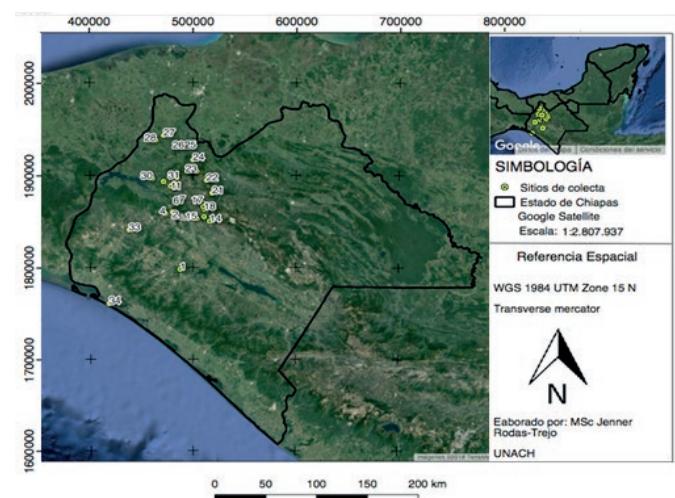


Figura 1. Mapa con los sitios de recolecta de los materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Chiapas, México.

Procedimiento para las recolectas: Las recolectas se efectuaron entre el 13 y el 21 de noviembre de 2015 y tuvieron en cuenta elementos básicos sugeridos en la metodología propuesta por Machado et al. ([1999](#)) para la recolecta, conservación y caracterización de especies herbáceas, arbóreas y arbustivas útiles para la ganadería y las establecidas por Toral et al. ([2015](#)) para la prospección y recolecta de especies de interés para la ganadería en dos provincias cubanas. Ambos métodos de recolecta se aplicaron en la región noreste del estado Chiapas donde existe amplia variabilidad de los ecosistemas. Además, esta abarcó el municipio de Tonalá en la región más suroriental de la zona costera. Cada punto de recolecta fue georreferenciado mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Se utilizó el método de recolecta individual y se estableció una distancia mínima de 20 km entre una recolecta y otra, o cuando los cambios edafoclimáticos de la región fueron contrastantes. Se cortaron varios tallos de todos los materiales recolectados para la obtención de material vegetativo. Donde hubo presencia de cabezuela con brácteas y pedúnculos secos de color marrón, según los criterios de Uribe et al. ([2017](#)) y Padilla et al. ([2018](#)), ésta también fue recolectada para la obtención de semilla.

Cuadro 1. Características generales de los lugares de recolecta y estado fenológico de las plantas colectadas.

Lugar	Altitud (msnm)	Descripción de las condiciones de lugar y estado fenológico de las plantas recolectadas
1	751	Ladera, abundante población, con algunas flores, sin semillas
2	869	Terreno ondulado, tallo oscuro y resistente al corte, con pocas flores
3		* Planta en barranco, con abundantes hojas sin la presencia de flores
4	656	Terreno plano sobre piedra, porte muy bajo, con flores pequeñas y abundantes, sin semillas
5		* Suelo de color amarillo, tallo duro resistente al corte de color morado, con pocas flores y sin semillas
6		* Basurero con suelo de color pardo, tallo robusto, pocas flores y sin semillas
7	815	Ladera del río entre matorrales, tallo robusto, floración normal, sin semillas
8	776	Ladera sobre suelo oscuro, tallo muy grueso, robusto y con vellosidades, hojas diferentes, abundante población, muchas flores sin semillas
9	629	En cerca, tallo robusto
10	609	Suelo artificial arenoso, tallo muy largo y robusto
11	351	Rivera de río, zona baja, tallo grueso, florecido
12	928	Ladera, en basurero, muy florecido, hojas grandes, cabezuela grande. Se recolectaron semillas
13	633	Suelo pedregoso, inicio de floración, pétalo dividido, tallo duro
14	500	Suelo arenoso, pocas y pequeñas hojas
15	703	Porte medio, muy dura y resistente al corte
16	1,130	Suelo pedregoso, flor grande, poco resistente al corte
17		* Suelo con alto contenido de MO, porte alto
18	1,099	Tallo bajo, amacollado y muy duro. Se recolectaron semilla
19	1,270	Tallo delgado
20	1,139	Estercolero de equino, flor pequeña
21	1,569	Ladera, excesiva humedad, hojas muy grandes
22	1,531	Tallo muy grueso, poca flor
23	1,929	Abundante follaje, porte bajo y poca flor, botón bien desarrollado. Se recolectaron semillas
24	362	Ladera de montaña, mucha semilla. Se recolectaron semillas
25	215	Basurero con materiales orgánicos, hojas grandes, flor pequeña. Se recolectaron semillas
26	31	Hojas grandes, pocas flores
27	102	Suelo negro muy húmedo, finalizando floración. Se recolectaron semillas
28	167	Tallo duro, flor pequeña con semilla. Se recolectaron semillas
29	640	Abundante biomasa, tallo fino, hojas pequeñas, flor normal
30	534	Suelo rojo, porte alto, hojas anchas, poca flor. Se recolectaron semillas
31	1,716	Suelo rojo arcilloso, tallo alto, delgado y resistente al corte, poca hoja, floración abundante. Se recolectaron semillas
32	924	Creciendo entre material de construcción (grava), hojas anchas, muy florecidas, botón desarrollado. Se recolectaron semilla
33	525	Abundantes flores pequeñas de color amarillo-naranja, resistente al corte, semillas secas. Se recolectaron semillas
34	7	Poca población, tallo grueso, semillas en ramas podadas. Se recolectaron semillas

* Altitudes no reportadas porque las condiciones de sitio no permitieron el uso de GPS.

Los materiales se identificaron numéricamente de manera sucesiva y en el momento de la recolecta se realizó una breve descripción del lugar y del estado fenológico en que se encontraba la planta recolectada.

Los tallos recolectados se mantuvieron húmedos para evitar su desecación durante el periodo de la recolecta y las cabezuelas recolectadas se colocaron en bolsas de nylon debidamente selladas. Se realizaron 3

días de recolectas y después de cada una de ellas, los materiales se trasladaron a la parcela experimental de la Escuela de Estudios Agropecuarios Mezcalapa donde el material vegetativo fue plantado en campo. Por otro lado, las cabezuelas se colocaron en una caja de cartón dividida por celdas identificadas y limitadas para evitar su contaminación. Estas se secaron al sol hasta que los aquenios se desprendieran fácilmente para la obtención de la semilla.

Plantación y diseño de las parcelas experimentales: Se utilizó un área total de 900 m² sobre un suelo perteneciente al grupo de los Leptosoles ([Semarnat 2006](#)); el cual era franco arcilloso, pedregoso, con pH neutro, textura media, libre de salinidad y con alto contenido de materia orgánica. La parcela se cortó de manera manual y posteriormente, se retiraron todas las piedras y los residuos vegetales. Antes de la plantación de los materiales recolectados y durante toda la investigación, el área se limpió con azadón para evitar competencia con otras plantas.

Se empleó un diseño completamente aleatorizado con 13 repeticiones y para la plantación se utilizaron estacas semileñosas de 40 cm de largo, obtenidas de la parte central de los tallos recolectados siguiendo las recomendaciones de Lourenco et al. ([2015](#)). Las estacas se establecieron en surcos de 5 m de largo, en forma manual, enterrando la parte basal de la estaca hasta 10 cm de profundidad. La distancia entre surcos fue de 3 m y la distancia entre planta de 40 cm, para un área experimental de 15 m² por parcela. Finalizada la plantación se aplicó 20 l de agua por surco, en forma manual. Este procedimiento se repitió cada 3 días durante los primeros 30 días después de la plantación.

Con las semillas se realizó un bio-ensayo de germinación en placas de Petri bajo condiciones de laboratorio, usando igualmente un diseño completamente aleatorizado, pero con 3 repeticiones. Como sustrato se empleó la capa superficial de un Leptosol ([Semarnat](#)

[2006](#)), la cual se pasó por un tamiz de 5 mm y fue esterilizada durante 72 horas a 65 °C en una estufa Boxun (Shanghai Boxun Industry & Commerce Co., Ltd, China) de circulación de aire forzado. En cada placa se colocaron 50 semillas y el sustrato siempre se mantuvo a capacidad de campo realizando dos riegos al día con aspersor manual.

Indicadores, métodos y frecuencia de muestreo: En la prueba de germinación después de la siembra y durante 30 días se evaluó el índice de velocidad de emergencia (IVE) según la metodología propuesta por Maguire ([1962](#)), utilizando la fórmula: $IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn$ donde: $E1, E2, \dots, En$ es el número de plantas emergidas en el primer, segundo y hasta el último conteo y $N1, N2, \dots, Nn$ es el número de días desde la siembra al primer, segundo y hasta el último conteo. Además, 30 días después de la siembra se calculó el porcentaje de germinación.

En el trabajo desarrollado en campo se adaptó la metodología de Maguire ([1962](#)) para evaluar el índice de velocidad de brotación (IVB) de las estacas plantadas durante 30 días después de la plantación. Para la estimación del IVB se utilizó un procedimiento similar al descrito para el cálculo del IVE.

La caracterización morfológica y productiva en las condiciones de campo se inició 90 días después de la plantación y se realizó con una frecuencia de 30 días hasta los 150 días de crecimiento. El promedio para las variables climáticas de la zona se presenta en el Cuadro 2, evidenciando que esta investigación se desarrolló en el periodo de temperaturas más bajas y con menor precipitación. Los indicadores determinados en cada planta de la unidad experimental fueron la altura de la planta (m) con el empleo de una regla graduada midiendo desde el suelo hasta el ápice de la planta, el diámetro del tallo (cm) con el uso de un pie de rey a la altura de 20 cm del suelo, el número de rebrotos por planta y el número de hojas por planta, estos dos últimos a través de conteos.

Cuadro 2. Comportamiento promedio de variables meteorológicas en la región de Copainalá. (Estación: 00007027, Municipio Copainalá, Chiapas, México)

Variables	Meses											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov*	Dic*	Ene*	Feb*	Mar*
Precipitaciones, mm	11.3	57.3	157.6	139.9	125.6	169.5	136.5	76.2	42.8	29.0	17.3	14.4
Días con Lluvias, #	7	14	22	28	28	25	16	8	4	4	5	7
Temperatura Máxima, °C	23.0	24.8	23.1	26.1	26.1	24.0	23.1	21.7	21.8	21.5	23.8	22.9
Temperatura Mínima, °C	12.5	12.1	11.4	12.6	10.8	11.7	9.3	8.0	5.8	7.8	7.3	10.5
Temperatura media mensual, °C	18.4	18.9	18.8	20.9	21.3	19.4	18.2	15.3	14.8	14.7	16.8	19.1

*Meses sombreados corresponden al periodo experimental.

A los 150 días de crecimiento post-siembra, y considerando este como el periodo de establecimiento, las plantas se cortaron a 40 cm de altura y se determinó en campo el peso verde total de hojas y de tallos usando una báscula digital portátil, y con base en estos se estimó el rendimiento de materia verde (MV) por hectárea.

Procesamiento estadístico: Los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad ([Shapiro y Wilk 1965](#)) y homogeneidad ([Levene 1960](#)) y luego a análisis de varianza (ANOVA). El porcentaje de germinación se transformó usando $\sqrt{(\%)}$. En los casos que ameritó comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ([1955](#)). Además, para agrupar aquellos materiales con características similares en términos velocidad de emergencia (IVE) y velocidad de brotación (IVB), así como para los porcentajes de germinación, brotación y las variables altura de planta, número de hojas, número de rebrotes y rendimiento de MV por planta, se aplicó análisis de conglomerados. Para la conformación de los grupos se utilizó la distancia Euclíadiana con valor igual a uno. En todos los casos, para el procesamiento de la información se empleó el programa estadístico InfoStat 12.0 ([Di Renzo et al. 2001](#)).

Resultados

Germinación

Todos los materiales evaluados presentaron capacidad germinativa (Cuadro 3). El mayor valor de germinación (32.7%) lo alcanzó el material #32, mientras que el #33 obtuvo el menor (0.7%). El resto de los materiales con semillas botánicas presentaron valores entre 1.3 y 24.7%. Los materiales con germinación más baja (# 12, 34 y 33) no difirieron entre sí ($P<0.01$). Los materiales # 32, 30, 24, 31 y 23 tuvieron un índice de velocidad de emergencia superior a 0.8 y no mostraron diferencias entre ellos (Cuadro 3). Este índice para el material #18 fue de 0.59, y aunque no difirió de los mencionados anteriormente, fue similar al resto de los materiales con valores entre 0.02 y 0.45.

El análisis de conglomerados aplicado a ambos indicadores mostró que los materiales se agruparon en dos conjuntos (Fig. 2). Los materiales # 32, 31, 30, 24 y 23 conformaron el grupo con mayor índice de velocidad de emergencia (0.98 ± 0.09) mientras que para el porcentaje de germinación el grupo con mayores valores ($25.12 \pm 2.82 \%$) estuvo conformado por los materiales antes citados más el # 18. El resto de los materiales se ubicaron en un segundo grupo con valores 0.28 ± 0.18 y

6.89 ± 4.44 para el índice de emergencia y porcentaje de germinación, respectivamente.

Cuadro 3. Germinación (%) e índice de velocidad de emergencia (IVE) en semillas de materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectados en el estado de Chiapas (Méjico).

No de Material	Germinación, %	IVE
32	32.7 ^{a*}	1.21 ^{a*}
30	24.7 ^{ab}	0.94 ^{ab}
24	22.0 ^{ab}	0.93 ^{ab}
31	24.0 ^{ab}	0.92 ^{ab}
23	26.0 ^{ab}	0.89 ^{ab}
18	21.3 ^{ab}	0.59 ^{abc}
25	11.3 ^{abc}	0.45 ^{bc}
27	13.3 ^{ab}	0.36 ^{bc}
28	9.3 ^{abc}	0.33 ^{bc}
12	5.3 ^{bcd}	0.15 ^c
34	1.3 ^{cd}	0.04 ^c
33	0.7 ^d	0.02 ^c
EE±	0.79	0.20
Valor P (\geq)	0.0021	0.0023

*a,b,c,d Medias con diferentes superíndices en la misma columna difieren $P<0.01$ ([Duncan 1955](#)). EE: Error estándar

La evaluación en campo mostró que sólo 5 de los materiales recolectados (1, 3, 4, 8 y 33) no se reprodujeron (Fig. 3). De los materiales viables, el 58.6% ($n=17$) tuvo una brotación mayor del 65% (Fig. 3A), el resto ($n=12$) se dividieron en dos grupos iguales con porcentajes de brotación entre 40 y 65% y menor de 40%. De igual manera, el índice de velocidad de brotación mostró diferencias en el tiempo con que los materiales brotaron (Fig. 3B); de los que brotaron, el 10.34% ($n=3$) tuvo un Índice de Velocidad de Brotación (IVB) entre 2 y 3, mientras que el 24.1% ($n=8$) alcanzó valores entre 1 y 2. En el resto de los materiales ($n=18$) este indicador no alcanzó la unidad.

Características Morfológicas

Las mediciones morfológicas mostraron un comportamiento variable en todos los momentos de muestreo y, de manera general, los materiales conformaron 3 grupos. En la Fig. 4 se muestra que los materiales # 2, 13, 16, 19, 22, 27, 28 y 34 siempre alcanzaron la menor altura, sin diferencias estadísticas entre ellos. Para este indicador, los materiales # 9, 12,

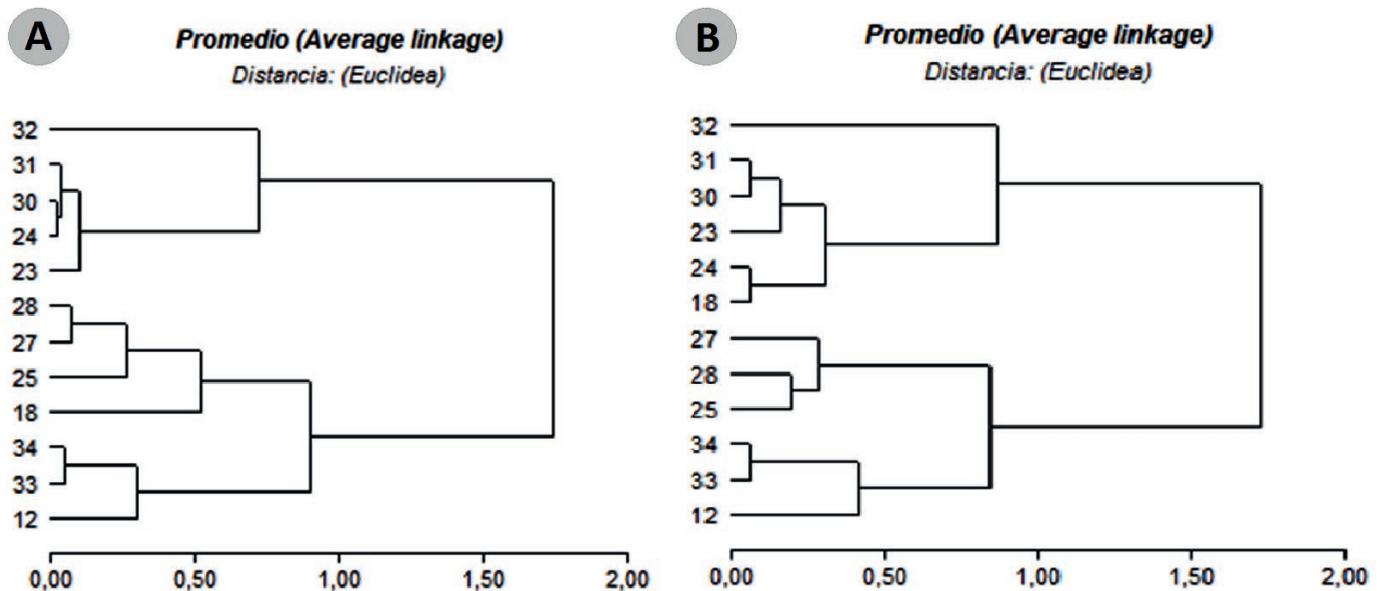


Figura 2: Agrupamientos de materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectadas en el estado de Chiapas (Méjico), en función de la capacidad germinativa de sus semillas. (A) Índice de velocidad de emergencia y (B) porcentaje de germinación.

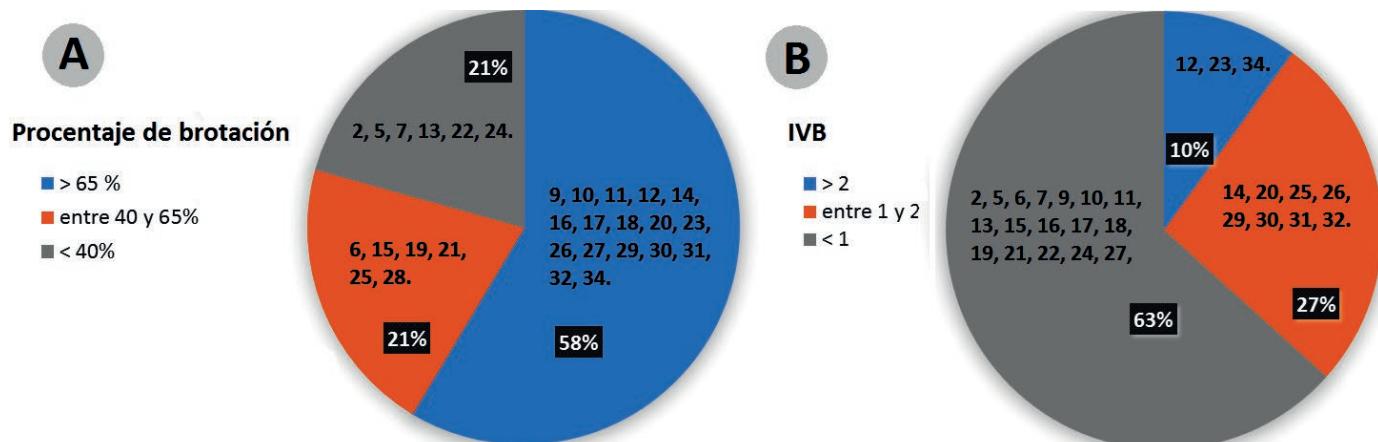


Figura 3: Capacidad reproductiva de materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectadas en el estado de Chiapas (Méjico). A: Porcentaje de Brotación; B: Índice de Velocidad de Brotación).

14, 26, 30 y 32 tuvieron un comportamiento intermedio y mostraron diferencias entre ellos a los 120 días de crecimiento. Los materiales # 29 y 24 fueron los de mayor altura y a los 150 días de crecimiento, pero no fueron diferentes ($P<0.05$) de los materiales # 6, 7, 10, 11, 17, 20 y 23.

El número de rebrotes por planta varió entre 1 y 13 para los materiales estudiados y durante los primeros 120 días de crecimiento, el análisis de conglomerados permitió conformar 3 grupos para este indicador (Fig. 5); en cambio, a los 150 días se identificaron 4 grupos. El material # 34 siempre mostró los valores más altos para la cantidad de rebrotes (13, 12 y 12 rebrotes a los 90, 120 y 150 días de

crecimiento, respectivamente). En los primeros 90 días de crecimiento el material # 34 conformó un grupo con los materiales # 25 y 12, y a los 120 días solo con el material # 25. En el grupo con menor cantidad de rebrotes por planta siempre estuvieron los materiales # 2 y 30.

En todos los momentos de muestreo, el número de hojas por planta fue el indicador que mostró mayor variabilidad entre los materiales recolectados (Fig. 6). A los 90 días de crecimiento, este indicador posibilitó agrupar los materiales en 4 grupos; el material # 25 conformó el grupo de mayor número de hojas (con 95 hojas). A los 120 días de crecimiento, el mayor número de hojas correspondió a los materiales # 5, 6 y 24 y 11,

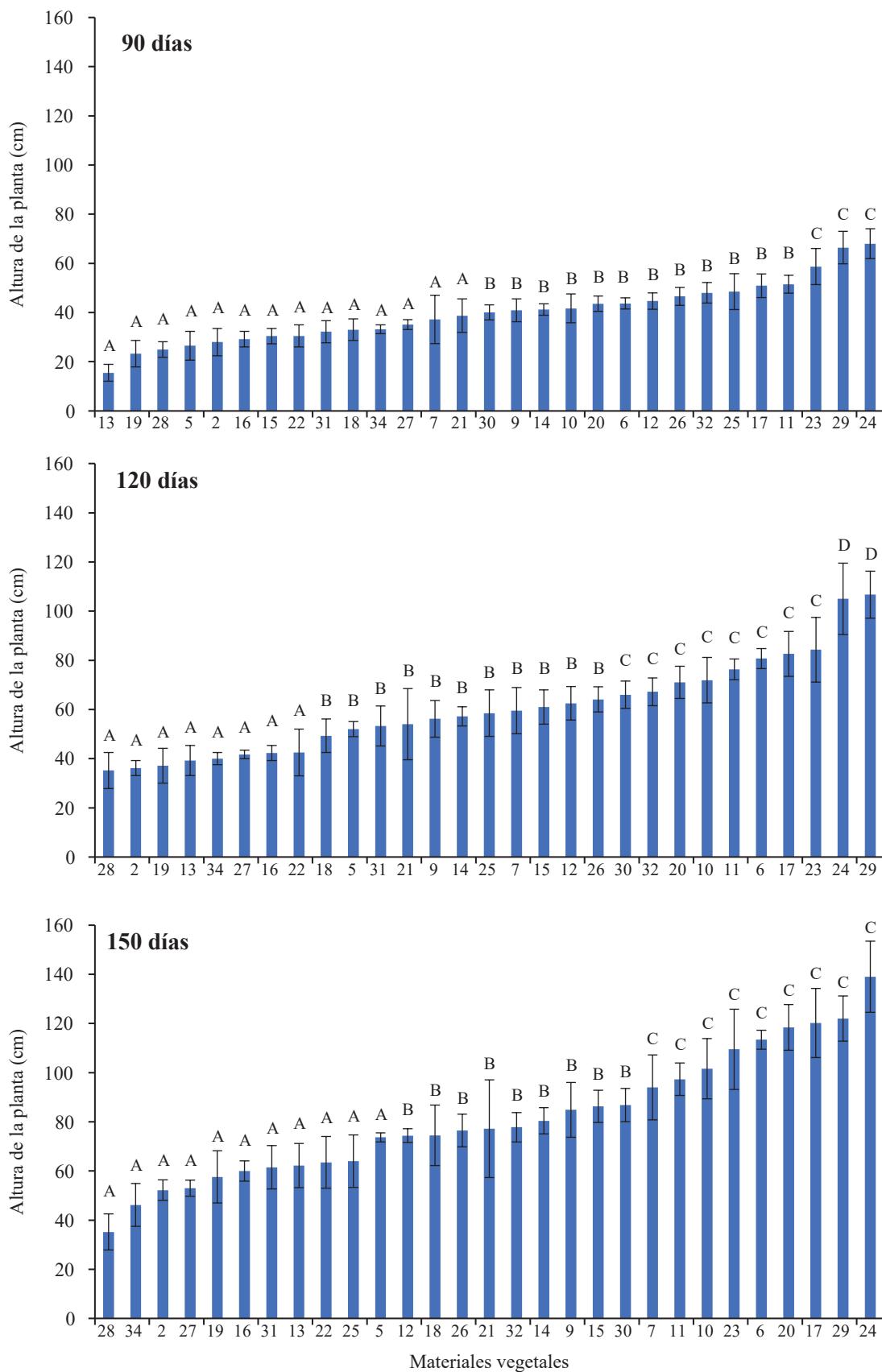


Figura 4. Altura (cm) de materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectadas en el estado Chiapas (México) a diferentes momentos de crecimiento.

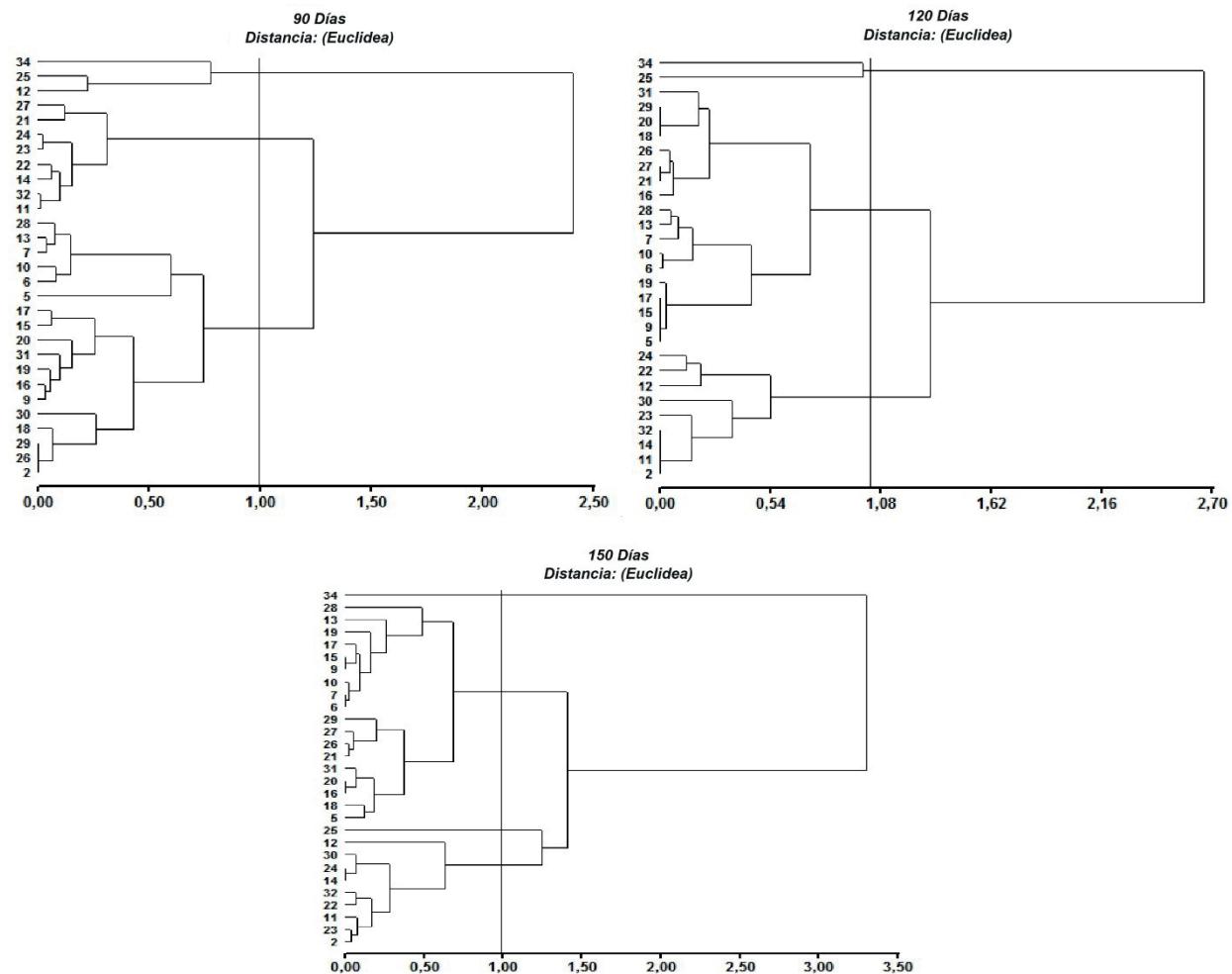


Figura 5. Agrupamiento de materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectados en el estado de Chiapas (Méjico) en diferentes momentos después de la siembra, en función del número de rebrotos por planta.

14, 25 y 29 que conformaron dos grupos con valores promedio de 93.5 y 70.8 hojas, respectivamente. Los materiales antes mencionados también conformaron el grupo con mayor número de hojas (85.6 en promedio) a los 150 días de crecimiento.

En todos los materiales evaluados, la producción por

planta a los 150 días fue superior a 3.0 kg MV (Figura 7). Los materiales # 14 y 24 conformaron el grupo con mayor producción por planta (10.3 kg MV, en promedio), seguido por los materiales # 5 y 23 (con 7.3 kg MV en promedio). El resto conformó un tercer grupo con una producción promedio por planta de 3.1 kg MV.

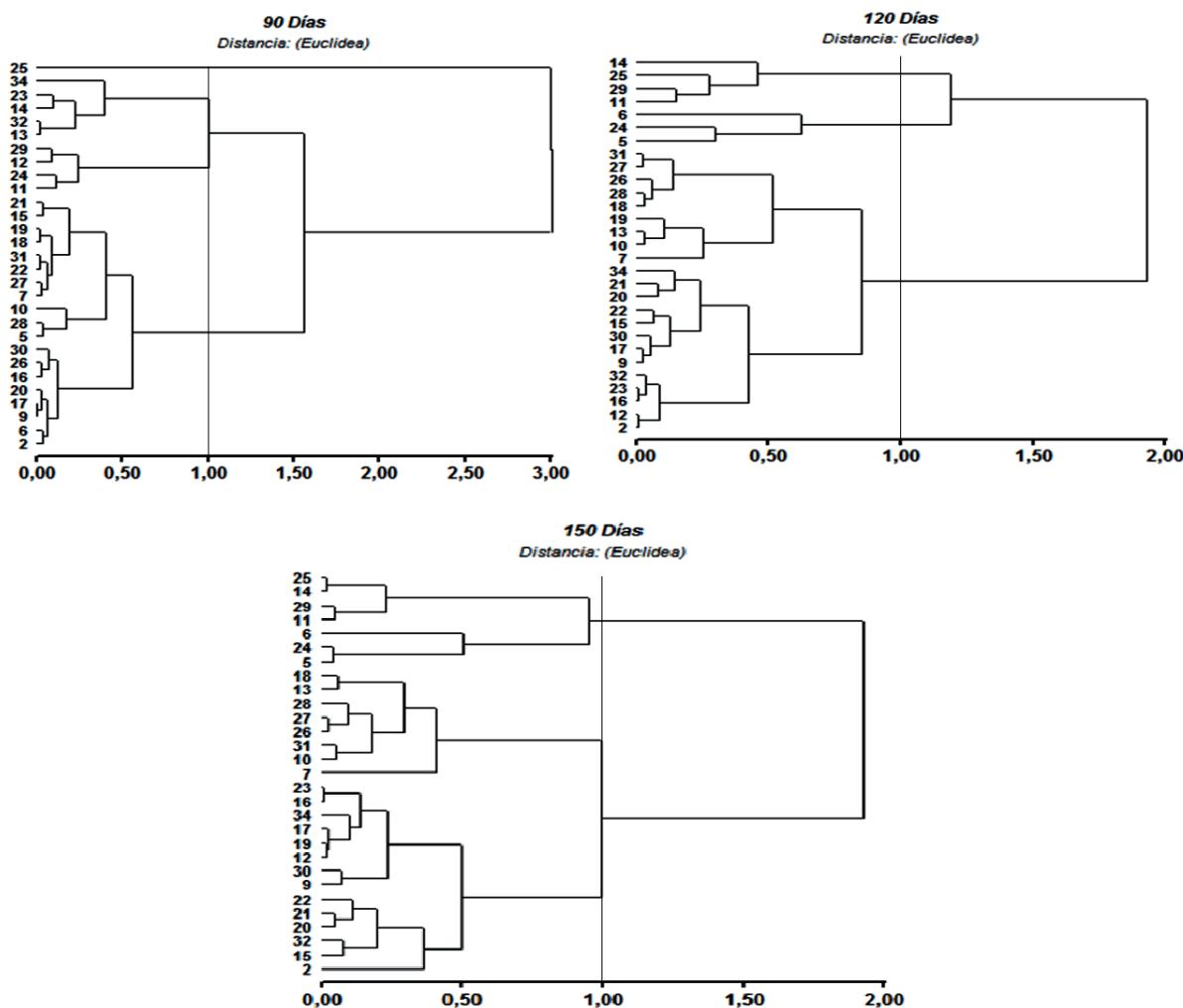


Figura 6. Agrupamiento de materiales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectados en el estado de Chiapas (Méjico) en diferentes momentos después de la siembra, en función del número de hojas por planta.

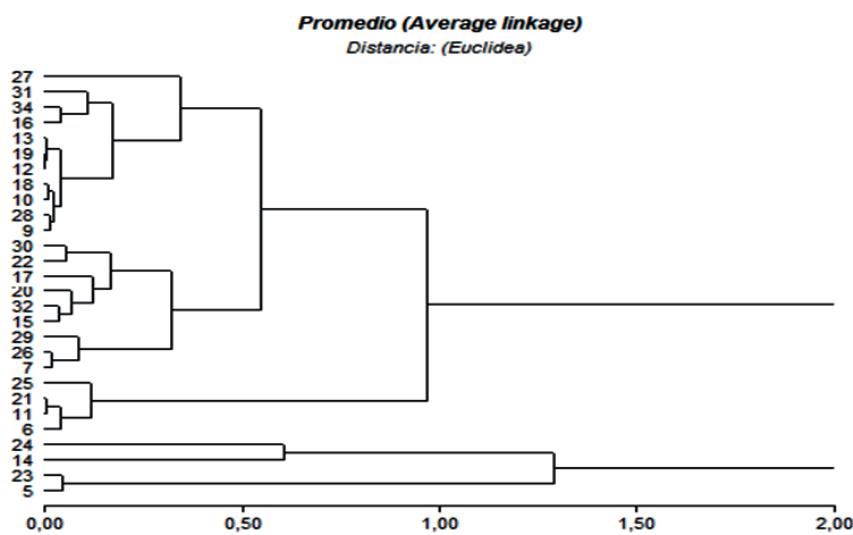


Figura 7. Agrupamiento de materiales vegetales de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray recolectados en el estado de Chiapas (Méjico), en función del rendimiento (kg MV planta-1) a los 150 días de crecimiento.

Discusión

Los porcentajes de germinación de las semillas de *T. diversifolia* encontrados en esta investigación son bajos, pero esta limitación es característica de la especie ([Peters et al. 2003](#); [González-Castillo et al. 2014](#)); sin embargo, esto puede ser considerado como un atributo favorable para prevenir el comportamiento invasor de la planta cuando se utiliza como especie multipropósito en sistemas ganaderos ([Inayat y Gordon 2009](#)).

Al estudiar diferentes momentos de cosecha de la semilla en esta especie, Padilla et al. ([2018](#)) informaron porcentajes de germinación similares a los encontrados en este trabajo cuando cosecharon las cabezuelas con brácteas verdes y pétalos marchitos; sin embargo, en ese estudio también se observó que los porcentajes de germinación eran superiores si se cosechaba cuando las cabezuelas tenían las brácteas verdes y sin pétalos o con brácteas y pedúnculos secos.

El estado fenológico y la madurez fisiológica de la semilla al momento de la cosecha son determinantes del potencial de germinación, por lo que es necesario profundizar sobre la fisiología y estrategias reproductivas de esta especie para la obtención de semilla sexual viable ([Saavedra 2016](#)). Padilla et al. ([2018](#)) además plantearon que los trabajos deben profundizar el estudio de la inflorescencia y la formación del aquenio.

Trabajos desarrollados en Colombia ([Mahecha y Angulo 2017](#); [Uribe et al. 2017](#)) han mostrado avances sobre el particular, definiendo diferentes estrategias para el establecimiento de parcelas para la producción de semilla sexual a mediana escala, como herramienta para la ampliación del uso de *T. diversifolia* en los sistemas pecuarios. Ellos señalaron que la siembra de semilla sexual directamente en campo favoreció el establecimiento de la especie.

Los resultados de los trabajos anteriormente citados reflejan que la germinación durante los primeros días postcosecha es aceptable, independientemente de las variaciones entre los materiales, tal como ocurrió en esta investigación. Dicha variación puede deberse a latencia fisiológica de semillas ([Santos-Gally et al. 2019](#)) o a irregularidades en su división meiótica ([Alcorcés et al. 2007](#)).

Los índices de velocidad de brotación alcanzados en este estudio indican el potencial de *T. diversifolia* para iniciar un proceso de crecimiento acelerado después de la plantación mediante el uso de riegos moderados durante el periodo poco lluvioso; característica que se busca en plantas forrajeras. Medina et al. ([2009](#)

mencionan que cuanto más acelerado sea el desarrollo de la planta más pronto será la producción de forraje y así se evitan pérdidas económicas.

Los valores elevados de sobrevivencia y prendimiento de las estacas pudieran deberse al volumen radical y la habilidad especial para absorber y extraer los nutrientes del suelo, una característica propia de *T. diversifolia* ([Mahecha y Rosales 2005](#)), lo cual le permite un mayor anclaje en corto tiempo, que a su vez garantiza una excelente persistencia durante la fase de establecimiento.

El empleo de indicadores morfológicos y productivos en la evaluación de plantas con potencial para la producción animal constituye una herramienta que permite agruparlas para diferentes fines productivos. Investigaciones realizadas en el último decenio ofrecen resultados similares a los obtenidos en este trabajo y demuestran la gran adaptabilidad edafoclimática y alta producción de biomasa en materiales de *T. diversifolia* ([Ribeiro et al. 2016](#)), pero además reflejan la variabilidad existente en su capacidad de rebrote, desempeño agronómico, composición química y de adaptación, debido probablemente a la gran diversidad genética que presenta la especie ([Luo et al. 2016](#); [Gallego-Castro et al. 2017](#)).

Aunque no abundan en la literatura estudios de diversidad genética en *T. diversifolia*, los que se dispone evidencian alta variabilidad intraespecífica. Investigaciones desarrolladas en México demostraron que el tamaño de los fragmentos de ADN variaba entre 170 hasta 1,450 pares de bases (pb), y se encontró gran variabilidad entre las 20 procedencias estudiadas ([Del Val et al. 2017](#)). Por su parte Yang et al. ([2012](#)), al estudiar esta especie en 4 localidades en China y 2 en Laos, encontraron valores medios de Nei de diversidad genética (H) y el índice de Shannon de diversidad (I) de 0.294 y 0.431, respectivamente; lo cual demuestra que existe una amplia diversidad intra materiales y entre poblaciones de *T. diversifolia*, lo cual sugiere un gran potencial de la especie para adaptarse a diversos ambientes.

Finalmente, los trabajos desarrollados por Ruiz et al. ([2017](#)) y Rivera ([2020](#)) reafirman que dentro de las variables morfológicas, la altura de planta, el número de rebrotos y el número de hojas por planta representan los atributos de mayor carga factorial y expresan el mayor porcentaje de la variabilidad encontrada cuando se realizó análisis de componentes principales, razón por la cual estas características pueden servir como parámetros de selección. Estos indicadores se relacionan directamente con la producción de biomasa, la cual según Gallego-Castro et al. ([2017](#)) puede variar entre 15 y 40 t/ha/año de MS bajo condiciones tropicales.

Conclusiones

Se corroboró la capacidad de adaptación de *T. diversifolia* a diferentes condiciones de ambiente y altitud en el estado de Chiapas, México.

Siete de los materiales evaluados se pueden propagar mediante semilla y esqueje; sin embargo, la variabilidad en tasa de germinación e índice de velocidad de emergencia evidencia la necesidad de profundizar los estudios sobre producción de semilla. La propagación vegetativa es la forma más común para el establecimiento de la especie, pues solo 5 de los materiales recolectados no consiguieron reproducirse por esta vía.

Las atributos morfológicos y productivos evidenciaron variabilidad entre los materiales y posibilitaron conformar tres grupos con características similares que pueden introducirse en diferentes alternativas para la producción animal.

El procedimiento de recolecta, evaluación y análisis estadístico empleado pueden constituir una herramienta válida en la evaluación de germoplasma de *T. diversifolia* con potencial para su uso en sistemas ganaderos.

Referencias

(Nota de los editores: Enlaces verificados el 15 de enero de 2024).

- Alcorcés N; Lárez A; Mayz, FJ. 2007. Additions to the cytogenetic knowledge of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A.Gray (Asteraceae). *Acta Botánica Venezolana* 30(2): 267–275. [jstor.org/stable/41740838](https://doi.org/10.28923/41740838)
- Alonso J; Ruiz, TE. 2017. Implementación y uso de *Tithonia diversifolia* en sistemas de pastoreo. En: Chará J; Peri P; Rivera JE; Murgueitio E; Castaño K, eds. Sistemas Silvopastoriles: Aporte a los objetivos de desarrollo sostenible. Actas del IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, Cali, Colombia, Agosto de 2017. p. 488–490.
- Del Val Díaz R; Miranda JM; Flores MX; Solorio JM; Gómez JF González S. 2017. Diversidad genética de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray de Michoacán: Análisis con marcadores de ADN-SSR. *Reaxion: Ciencia y Tecnología Universitaria* 4(3):9–14. [bit.ly/3HqFYcz](https://doi.org/10.1344/reaxion2017_0009)
- Di Rienzo J; Balzarini M; Casanoves F; Gonzalez L; Tablada M; Robledo, C. 2001. InfoStat: software estadístico. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11(1):1–42. doi: [10.2307/3001478](https://doi.org/10.2307/3001478)
- Gallego-Castro LA; Mahecha-Ledesma L; Angulo-Arizala, J. 2017. Calidad nutricional de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A Gray bajo tres sistemas de siembra en el trópico alto. *Agronomía Mesoamericana* 28(1):213–222. doi: [10.15517/am.v28i1.21671](https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21671)
- González-Castillo JC; Hahn Von-Hessberg CM; Narváez-Solarte W. 2014. Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) y su uso en la alimentación animal. *Boletín Científico Centro de Museos* 18(2):45–58. [bit.ly/3tUuuvm](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12520.30403)
- Holguín VA; Ortiz Grisalez S; Velasco Navia A; Mora Delgado J. 2015. Evaluación multicriterio de 44 introducciones de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Candelaria, Valle del Cauca. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia* 62(2):57–72. doi: [10.15446/rfmvz.v62n2.51995](https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n2.51995)
- Inayat A; Gordon O. 2009. Influencia de las fases lunares (menguante y luna llena) sobre la propagación vegetativa del botón de oro *Tithonia diversifolia*. Tesis de grado. Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. 116 p. [repository.espe.edu.ec/handle/21000/2600](https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2600)
- INEGI (Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía). 2022. Aspectos Geográficos - Chiapas (07). INEGI, Aguascalientes, México. [bit.ly/48yQ8o6](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33030.80000)
- Levene H. 1960. Robust tests for equality of variances. En: Olkin I; Ghurye SG; Hoeffding W; Madow WG; Mann HB, eds. Contribution to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling. Stanford University Press. Stanford, USA. p. 278–292.
- Lourenco JN; Matos A; Meirelles AC; Silva RL da; Lourenco, F. 2015. Estudos preliminares sobre a propagação vegetativa de *Tithonia diversifolia*. Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia, Belém, PA, Brazil, setembro 28–Outubro 1 2015 Cadernos de Agroecología 10(3). [bit.ly/3RZh7lx](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12520.30403)
- Luo L; Zhang P; Ou X; Geng, Y. 2016. Development of EST-SSR markers for the invasive plant *Tithonia diversifolia* (Asteraceae). Applications in Plant Sciences 4(7):1600011. doi: [10.3732/apps.1600011](https://doi.org/10.3732/apps.1600011)
- Machado R; Roche R; Toral O; González E. 1999. Metodología para la recolecta, conservación y caracterización de especies herbáceas, arbóreas y arbustivas útiles para la ganadería. *Pastos y Forrajes* 22(3):181–204. [bit.ly/3RXpwpz](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12520.30403)
- Maguire JD. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2(2):176–177. doi: [10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x](https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x)
- Mahecha L; Angulo J. 2017. Experiencia investigativa sobre *Tithonia diversifolia*. Universidad de Antioquia. En: Chará J; Peri P; Rivera JE; Murgueitio E; Castaño K, eds. 2017. Sistemas Silvopastoriles. Aporte a los objetivos de desarrollo sostenible. Actas del IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, Cali, Colombia, Agosto de 2017. p. 446–447.
- Mahecha L; Rosales M. 2005. Valor nutricional del follaje de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia* [Hemsl]. Gray) en la producción animal en el trópico. *Livestock Research for Rural Development* 17(9):Article #100. [lrrd.org/lrrd17/9/mahe17100.htm](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12520.30403)

- Medina MG; García DE; González ME; Cova LJ; Moratinos, P. 2009. Variables morfo-estructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical* 27(2):121–134. [bit.ly/47JK0s0](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751)
- Murgueitio E. 2022. *Tithonia diversifolia* una Asterácea diferente: su papel en los sistemas sostenibles de producción agropecuaria. Convención Producción Animal y Agrodesarrollo 2022, Varadero, Cuba, 10 al 14 de octubre 2022. p. 2297-2308.
- Padilla C; Rodríguez I; Ruiz TE; Herrera M. 2018. Determination of the best time to harvest seeds of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. *Livestock Research for Rural Development* 30(4):Article #71. lrrd.org/lrrd30/4/idal30071.html
- Peters M; Franco LH; Schmidt A; Hincapié B. 2003. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. Publicación CIAT no. 333. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 114 p. hdl.handle.net/10568/54680
- Ribeiro RS; Sacramento JP; Calsavara LHF; Freitas S; Delarota GD; Minighin DC; Silveira SR; Pereira LGR; Mauricio, RM. 2017. *Tithonia diversifolia* para la alimentación de ganado lechero en Brasil. En: Chará J; Peri P; Rivera JE; Murgueitio E; Castaño K, eds. Sistemas Silvopastoriles. Aporte a los objetivos de desarrollo sostenible. Actas del IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, Cali, Colombia, Agosto de 2017. p. 406–411.
- Ribeiro RS; Terry SA; Sacramento JP; Silveira SR e; Bento CBP; da Silva EF; Mantovani HC; Gama MAS da; Pereira LGR; Tomich TR; Mauricio RM; Chaves, AV. 2016. *Tithonia diversifolia* as a supplementary feed for dairy cows. *PLoS ONE* 11(12):e0165751. doi: [10.1371/journal.pone.0165751](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751)
- Rivera JE. 2020. Variabilidad fenotípica y genética de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, una planta para la producción animal sostenible en Colombia. Tesis de Doctado. Universidad de Antioquia, Colombia. hdl.handle.net/10495/16661
- Rivera JE; Chará JD; Barahona R. 2016. Life cycle assessment for the production of cattle milk in an intensive silvopastoral system and a conventional system in Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19: 237-251. doi: [10.56369/tsaes.2178](https://doi.org/10.56369/tsaes.2178)
- Rivera J; Lopera J; Chará J; Gómez-Leyva J; Barahona R; Enrique E. 2019. Genetic and morphological diversity of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray for use in silvopastoral systems of Latin America. En: Dupraz C; Gosme M, Lawson G, eds. Book of Abstract 4th World Congress on Agroforestry. CIRAD, INRA. Montpellier, France. 712 p.
- Rodríguez I; Padilla C; Ojeda M. 2019. Características de la germinación de la semilla gámica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y su comportamiento en condiciones de vivero. *Livestock Research for Rural Development* 31(5): Article #69. lrrd.org/lrrd31/5/idalma31069.html
- Ruiz TE; Alonso J; Febles G; Galindo J; Savón L; Chongo B; Martínez Y; La O O; Gutierrez D; Torrez V; Scull I; Cino DM; Crespo G; Mora L; Valenciaga N; Padilla C; Rodríguez B; Muir I; Rivero A; Hernández N. 2017. Evaluación de accesiones rerecolectados de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray en Cuba. En: Chará J; Peri P; Rivera JE; Murgueitio E; Castaño K, eds. Sistemas Silvopastoriles. Aporte a los objetivos de desarrollo sostenible. Actas del IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, Cali, Colombia, Agosto de 2017. p. 486–487.
- Saavedra S. 2016. Fenología y fisiología de semillas de botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 62 p. repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58749
- Santos-Gally R; Muñoz M; Franco G. 2019. Efecto de la latencia sobre la germinación de *Tithonia diversifolia* (Asteraceae). En: Rivera J; Peri P; Chará J; Díaz M; Colcombet L; Murgueitio E, eds. Actas del X Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, Asunción, Paraguay, septiembre 24–26 de 2019. p. 417–425. [bit.ly/3U38ucw](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751)
- Santos-Gally R; Muñoz M; Franco G. 2020. Fruit heteromorphism and germination success in the perennial shrub *Tithonia diversifolia* (Asteraceae). *Flora* 271: 151686. doi: [10.1016/j.flora.2020.151686](https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151686)
- Semarnat. 2006. Suelos. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. Diario Oficial de la Federación. CDMX, México. [bit.ly/48B04NI](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751)
- Shapiro SS; Wilk, MB. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(34):591–611. doi: [10.2307/2333709](https://doi.org/10.2307/2333709)
- Toral OC; Navarro M; Reino J. 2015. Prospección y colecta de especies de interés agropecuario en dos provincias cubanas. *Pastos y Forrajes* 38(3):157–163. [bit.ly/3TUIRvs](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165751)
- Uribe F; Giraldo J; MejíaC; Solarte L; Alfaro CJ. 2017. Experiencias con sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) con Botón de Oro en el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. En: Chará J; Peri P; Rivera JE; Murgueitio E; Castaño K, eds. Sistemas Silvopastoriles. Aporte a los objetivos de desarrollo sostenible. Actas del IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles,

Cali, Colombia, Agosto de 2017. pp. 495-496.
Yang J; Tang L; Guan Y-L; Sun W-B. 2012. Genetic Diversity
of an alien invasive plant mexican sunflower (*Tithonia*

diversifolia) in China. Weed Science 60(4):552–557. doi:
[10.1614/WS-D-11-00175.1](https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00175.1)

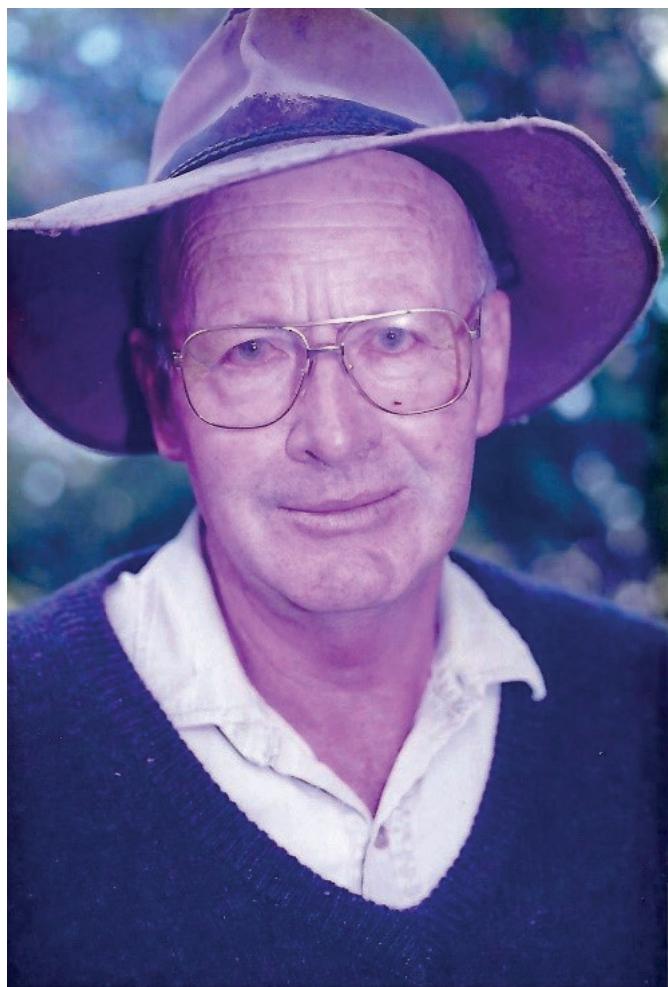
(Recibido para publicación 3 marzo 2023; aceptado 25 noviembre 2023; publicado 31 de enero 2024)

© 2023



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales una revista de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, en asociación con el *Instituto de Recursos Genéticos de Cultivos Tropicales de la Academia China de Ciencias Agrícolas Tropicales (TCGRI-CATAS)*. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Obituary John Moorcroft Hopkinson



“Hop’s gone.”

John Moorcroft Hopkinson would have approved of that message telling me of his death on August 28 2023. He was an expert in getting to the point as well as in tropical pasture seed production.

He began life in western Lancashire, a thoroughly rural part of England that would have fired his interest in the biological world. From there, he studied his way to Nottingham University and earned a PhD with Fred Milthorpe, an Australian plant physiologist. After working for a time on a farm, growing tomatoes among other things, John was employed by CSIRO to study tobacco-growing at Mareeba in northern Queensland. Arriving in Australia by ship in 1962, he was able to bring his favourite spade with him. That spade, shorn of its blade, became his walking stick in later years. John published a number of studies on growth and flowering of the tobacco plant, particularly as affected by transplanting and water stress. Some of this work was done with Rae Hannam, a plant anatomist who would become his wife, and life-long companion.

John was pursued by J. P. Ebersohn and recruited to Queensland Department of Primary Industries in 1970 after a spell at Macquarie University (again with Fred Milthorpe) to avoid breaking an anti-poaching agreement between QDPI and CSIRO. Imagine a student, reporting on a pot experiment that commencement of flowering resulted in loss of vigour, retrieving his marked report where Hop had commented “This is not the place for personal reminiscences.”

Limitations to seed production of a range of exotic tropical pasture grasses and legumes were becoming important and needed investigation. Unfamiliar though these plants and crops must have been, he set out in methodical style to study seed production, storage and quality. He established a tropical pasture seed production unit at Walkamin in north Queensland. There being little published information, he established productive partnerships with farmers, agronomists and seed-quality specialists.

His publications show a systematic sequence of observations, experiments and syntheses. Some of his observations, like watching fruit bats pollinating *Calliandra*, were necessarily nocturnal and needed special patience. His list of publications on tropical pasture seed and its production is extensive, many being co-authored with farmers, agronomists and seed technologists. His writing was direct, lucid and intended to confer understanding.

He was well-known internationally and made many visits to Latin America, Africa and Asia. Equally important in Australia were his continuing links with seed producers, many of whom would rely on his advice before making production decisions. John's efforts and collaboration with forward-thinking farmers and companies saw the development of a successful, long-term forage seed industry centred on the Atherton Tableland of north Queensland. He also developed highly successful international training courses in tropical pasture seed production, processing and testing and mentored Australian and international researchers, making life-long friendships along the way. In recognition of John's achievements, he was made a Fellow of the Tropical Grassland Society of Australia in 1993 for his outstanding contributions to tropical pasture seed research and development. In 1997, he received a Clunies-Ross Award, given to honour remarkable innovators in the fields of applied science, technology and engineering. Awardees have, often against difficulties and always with persistent commitment, made important contributions to science and its application for the economic, social or environmental benefit of Australia. He was a staunch supporter of the *Tropical Grasslands-Forrajes Topicales* journal and its predecessor, *Tropical Grasslands*, and was a reliable and critical reviewer for the journals.



On at least one trip to Asia he purchased some bran to supplement his diet. Did he go to a health food shop? Not likely. He found some in a produce store in the horse-racing district in Brisbane. For anyone lucky enough to see and hear a Hop talk or conference summary, his style was clear, insightful and often very funny, in a dry Lancastrian way. His drawings and explanations of strophioles and their workings were a special experience.

His life was rounded by playing cricket, playing and refereeing football (soccer to Australians), astronomy, extensive reading and even some artistic whittling. Unsurprisingly, he was a highly successful gardener and even bought an extra plot of land devoted entirely to the growing of vegetables and fruit. It was telling that the celebration of his life in his small home town of Atherton was a simple affair attended by many farmers, colleagues and friends with many warm memories recounted.

A summary of Hop's life would be incomplete without mention of his clothing style and dietary preferences. He explained his khaki dress style as avoiding making any fashion decisions early in the morning. His evening meal was incomplete without potatoes.

Starchy but not stiff

Many physiologists are duds
Endlessly peering in buds
Ours smart as a fox
But sans jocks and locks
And a strange obsession with spuds.

Joe Miller



**Tropical Grasslands
-Forrajes Tropicales**

Online Journal

TGFT Editorial Team
A.A. 6713, Km 17 Recta Cali-Palmira.
Cali, Valle del Cauca, Colombia.

Phone: +57 2 4450100 Ext. 3084
Email: CIAT-TGFT-Journal@cgiar.org

