



Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

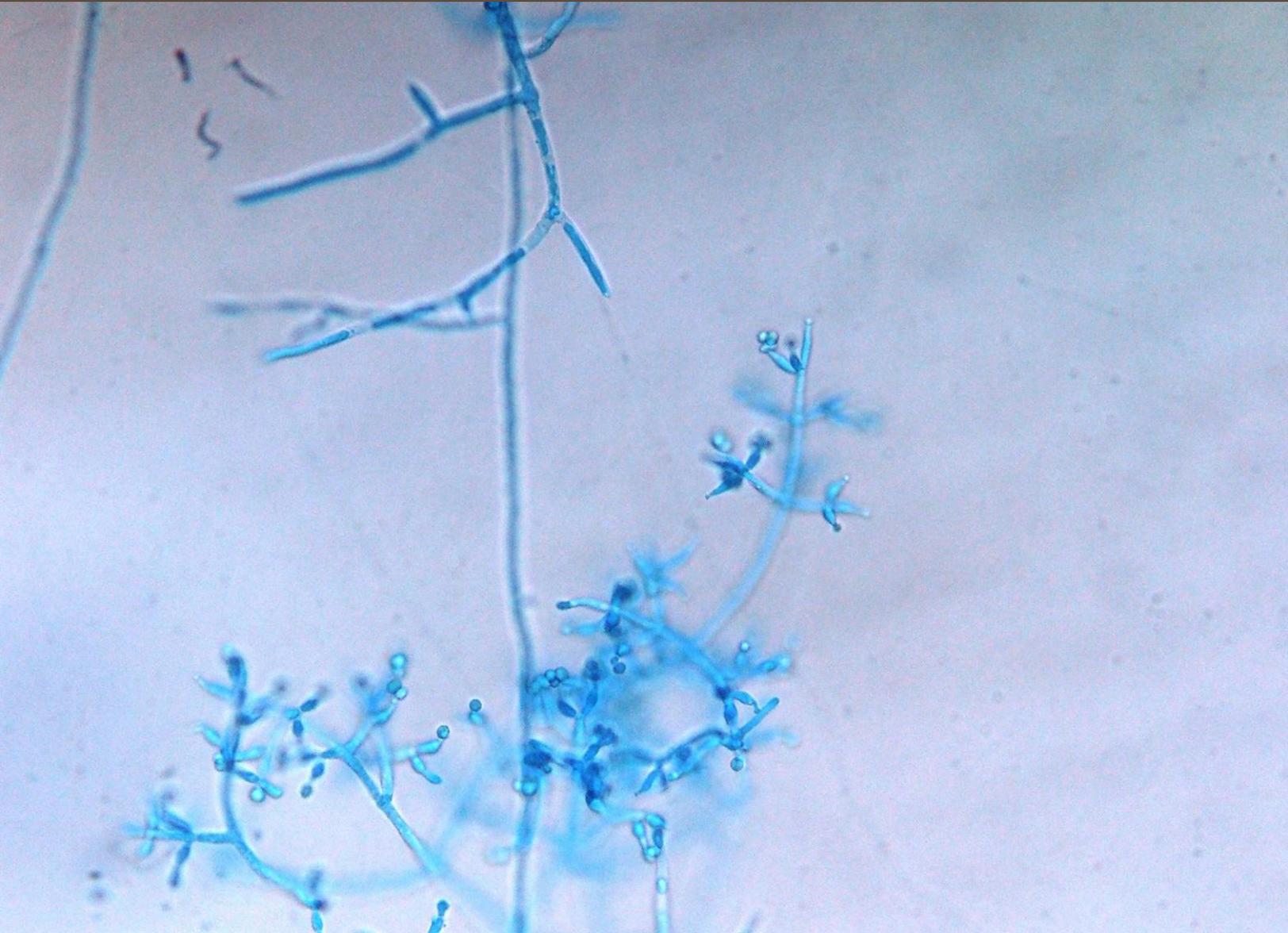
ALCANCES TECNOLÓGICOS

REVISTA DEL INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

VOLUMEN 14

NÚMERO 1

AÑO 2021





ALCANCES TECNOLÓGICOS

REVISTA DEL INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

VOLUMEN 14

NÚMERO 1

AÑO 2021

Revista del Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria

INTA-Costa Rica

Cuerpo editorial del INTA – Costa Rica	
Cargo	Nombre
Directora	Ing. Laura Ramírez Cartín
Editora	Ing. Kattia Lines Gutiérrez
Comité Editorial	Ing. Laura Ramírez Cartín
	Ing. Kattia Lines Gutiérrez
	Ing. Francisco Arguedas Acuña
	Ing. Nevio Bonilla Morales
	Ing. Roberto Camacho Montero

Comité Científico (Grupo Asesor/Comité Internacional)	
Miembros	Institución / Organización
Alexis Vásquez Morera	Trabajador independiente – Costa Rica
Calos Chaves Villalobos	EARTH – Costa Rica
Danilo Pezo Quevedo	ILRI – Uganda
Flor Araya Sandí	Agronomía Mesoamericana
José Alberto Torres Moreira	Trabajador independiente – Costa Rica
Luis Villegas Zamora	MAG – Costa Rica
Olman Quirós Madrigal	UCR – Costa Rica
Oscar Bonilla Bolaños	UNED – Costa Rica
Pedro Argel Montalvo	Trabajador independiente – Costa Rica
Ricardo Guillén Montero	MAG – Costa Rica
Rodolfo Araya Villalobos	Agronomía Mesoamericana
Walter Peraza Padilla	UNA – Costa Rica
Walter Ruiz Valverde	UCR – Costa Rica

630

A Alcances tecnológicos / Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. -- Vol. 1, no. 1 (2003). -- San José, C.R.: INTA, 2003. -

Anual.

ISSN-1659-0538 - Versión impresa

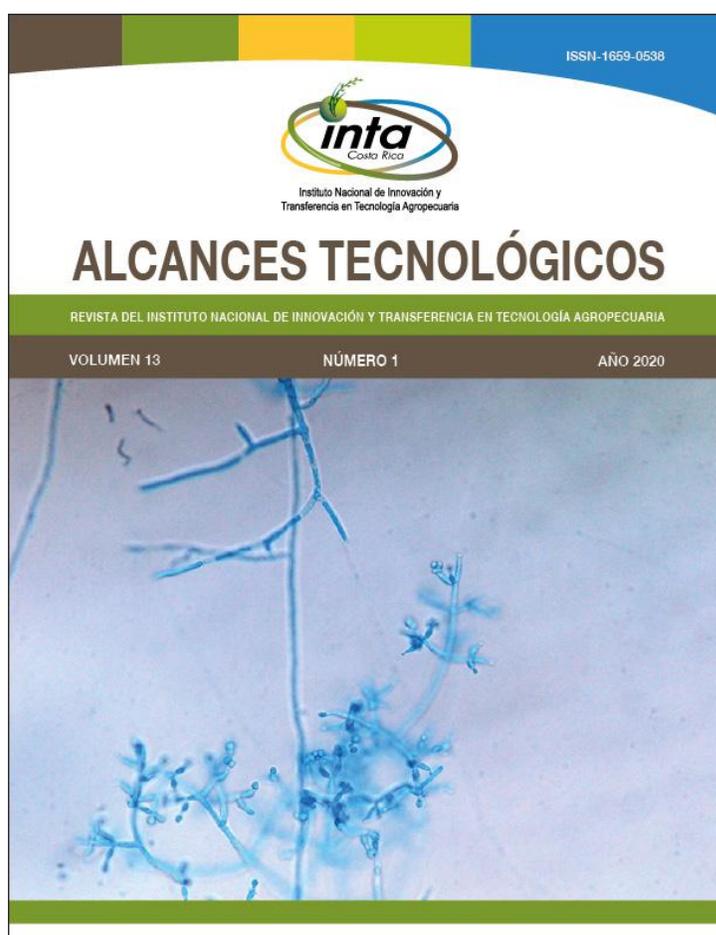
ISSN-2215-5481 - Versión en línea

1. AGRICULTURA. 2. INVESTIGACIÓN. 3. COSTA RICA.

Foto de portada: María Cristina Vargas Chacón, Jefatura Laboratorios.

Diseño gráfico y diagramado: Handerson Bolívar Restrepo.

Impresión: Impresiones el Unicornio.



ALCANCES TECNOLÓGICOS

REVISTA DEL INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA EN TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

VOLUMEN 14

NÚMERO 1

AÑO 2021

ARTÍCULOS

- Adicionalidad de carbono orgánico de suelo en pasto Cayman bajo pastoreo racional Voisin.
Francisco Arguedas Acuña, Moisés Hernández Chaves, Sergio Abarca Monge, Roberto Soto Blanco05-12
- Degradación ruminal efectiva de botón de oro (*Tithonia diversifolia*).
Victoria Arronis, Sergio Abarca, Roberto Soto 13-21
- Eclosión de adultos de mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) a partir de la incorporación del rastrojo de plantas de piña al suelo.
Yannery Gómez-Bonilla, Oscar Bravo Bonilla22-30
- Efecto de la quema en caña de azúcar sobre el carbono de un Andisol.
Johnny Montenegro-Ballester, Marcos Chaves-Solera31-48
- Efecto de rotación de cebolla y zanahoria, sobre la dinámica poblacional del nematodo *Globodera* spp.
Ricardo Piedra Naranjo49-59
- Emisión de metano y óxido nitroso de excretas de bovinos en Costa Rica.
Johnny Montenegro-Ballester, Eduardo Barrantes-Guevara60-74
- Parasitismo *in vitro* de 23 aislamientos de *Trichoderma asperellum* contra *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*.
José Arturo Solórzano Arroyo, Cristina Vargas-Chacón75-83

NOTAS TÉCNICAS

- Efecto del clima en animales pastoreando Cayman en el trópico muy húmedo de Costa Rica.
Moisés Hernández-Chaves, Sergio Abarca-Monge, Roberto Soto-Blanco84-97
- Engorde de ganado estabulado con dietas de bajo costo, con base en bancos forrajeros.
Victoria Arronis, Jorge Morales98-113
- Experiencia del INTA en la producción de semilla de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.).
Nevio Bonilla Morales, Josselyne Aguilar López 114-132
- Mineralogía de los suelos en la zona protectora: "Cerros de Escazú".
Carlomagno Salazar Calvo133-150

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES151-155

REVISORES TÉCNICOS156-158

ADICIONALIDAD DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN PASTO CAYMAN® BAJO PASTOREO RACIONAL VOISIN

Francisco Arguedas Acuña, Moisés Hernández Chaves¹, Sergio Abarca Monge¹, Roberto Soto Blanco¹

RESUMEN

Adicionalidad de carbono orgánico de suelo en pasto Cayman® bajo pastoreo racional Voisin. En las pasturas de los trópicos muy húmedos predominan las plantas tipo C4. Los métodos para medir adicionalidad de carbono orgánico del suelo (COS), se basan en la profundidad a la que el suelo está siendo afectado en su almacén de carbono (C) por la gestión de la cobertura actual. La sostenibilidad de las especies forrajeras de las pasturas está relacionada con la disponibilidad de nitrógeno (N) y su potencial de retención de C. Entre el 2012 y 2018, se estudiaron las diferencias entre una pastura con Ratana (*Ischaemum indicum*) con manejo tradicional y una pastura de Cayman® Híbrido de *Brachiaria*, en Guápiles. Las variables fueron: Densidad Aparente (DA), concentración y masa del COS y nitrógeno total (NT). Se observó la variación de COS en los primeros 10 cm en ambos sistemas de pasturas. La pastura de Ratana con manejo tradicional presentó menores concentraciones de C y N y una mayor densidad aparente. Se concluyó que la densidad aparente jugó un rol importante en la masa de COS en la pastura de Cayman® con un manejo Voisin, lo que generó la necesidad de corregir el volumen para mantener una masa de suelos constante, estimando la variación en el crecimiento superficial del suelo con respecto al año de inicio.

Palabras Clave: Carbono en pasturas tropicales, adicionalidad de carbono en el suelo, nitrógeno total del suelo.

Keywords: Carbon in tropical pastures, soil carbon additionality, total soil nitrogen.

INTRODUCCIÓN

Los cambios del almacén de carbono del suelo, cuando tienden a incrementarse, se les conoce como adicionalidad. En las ecuaciones de C-Neutralidad esta adicionalidad se resta a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se generan de los procesos productivos (INTECO 2016). Estos se deben de medir en al menos en dos momentos diferentes para cuantificar la variación en términos de masa (peso) a una profundidad dada (IPCC 2006, FAO 2019). La evidencia científica indica que en

los suelos tropicales los aportes de carbono y nitrógeno producto de la materia orgánica al suelo por diferentes procesos, antropogénicos y naturales pueden generar variaciones importantes en el almacén de carbono del suelo y la densidad aparente (Guo y Gifford 2002; Mc Sherry y Ritchel, 2013; Hernández et al, 2014). Uno de esos procesos es el pastoreo racional con enfoque Voisin (Hernández-Chaves et al, 2020). Así mismo, desde hace décadas se conoce del potencial de los pastos tropicales para incorporar carbono (C) al

¹ Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. farguedas@inta.go.cr, mhernandez@inta.go.cr, sabarca@inta.go.cr, rsoto@inta.go.cr

suelo (Fisher *et al.* 1994), y las diferencias entre los tipos de suelo y el potencial de los pastos mejorados en las regiones tropicales muy húmedas de Costa Rica en el secuestro de C (Veldkamp 1994; Arguedas *et al.* 2018). Por otra parte, el nitrógeno (N) como elemento esencial en el mantenimiento de las pasturas (Ghannoum y Conroy 1998), juega un rol importante mediante la relación C:N en la capacidad del suelo para retener C (Abarca *et al.* 2018a). Más recientemente, se han publicado trabajos sobre el secuestro de carbono en suelos manejados en parcelas de pastoreo y su impacto en la reducción en el ciclo de vida del carbono de la carne bovina (Paige *et al.* 2018) el potencial de las tierras bajo pastoreo para capturar y retener carbono y su repercusión en el balance de GEI en las fincas (Ramírez-Restrepo *et al.* 2019) y el alcance de regiones de Suramérica para la captura y retención de C de suelos bajo pastoreo (Viglizzo *et al.* 2019). Sobre el potencial de deposición de carbono en el suelo, Malhi *et al.* (1999)

indicaron que el 60% del carbono almacenado por los ecosistemas naturales tropicales se encontraba bajo la superficie del suelo. Por otra parte, en Costa Rica, se tiene evidencia del grado de aporte de C por parte de las pasturas, en relación con el contenido preexistente en el suelo (Abarca *et al.* 2018b) este aporte de las pasturas tropicales podría ser debido a que la mayoría de especies de pastos utilizadas en Costa Rica son de tipo C4; con anatomía Kranz y se caracterizan por una alta eficiencia en fijación de C (Ehleringer 1991).

El objetivo de este estudio fue observar la variación de la densidad aparente del suelo, así como las proporciones y la masa de carbono y nitrógeno del suelo bajo una pastura de Cayman® (*Brachiaria* híbrido) con un pastoreo racional Voisin (PRV) en relación con las pasturas tradicionales de pasto Ratana (*Ischaemum indicum*), en la región tropical muy húmeda de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el área de ganadería de la Estación Experimental Los Diamantes (EELD), ubicada en Guápiles, cantón de Pococí, provincia de Limón. La zona de vida de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1978) corresponde a Bosque Muy Húmedo Tropical Basal, con una precipitación anual de 4332 mm, y temperatura diaria promedio de 24,6 °C.

Las pasturas se evaluaron en diferentes periodos durante 2389 días (6,5 años). El área de pasto Cayman® tuvo un área de 4,35 ha y se sembró en el año 2012. En el año 2014 se dividió en 21 apartos (parcelas de pastoreo), los cuales tuvieron un periodo de ocupación promedio de 2,4 días de pastoreo y el periodo de rebrote fue de 42 **días**; asimismo, la carga animal promedio anual fue de 2,4 UA.ha⁻¹ (UA = 450 kg peso vivo). La pastura de Ratana (*I. indicum*), tuvo un área de 5,02 ha que tenían **más de 30 años** de establecida, manejada con más de cuatro **días de ocupación y periodos de rebrote entre 28 y 35 días**; además, la carga animal fue aproximadamente de 1,2 UA.ha⁻¹.

En la pastura de Ratana se evaluaron 11 puntos en dos momentos (2012 y 2018), mientras que en Cayman® los puntos evaluados fueron 21, muestreados en siete ocasiones durante los años 2014, 2015, 2016 y 2018. La densidad de muestreo en términos de cantidad de muestras por hectárea fue diferente para cada pastura; más amplia en Ratana (0,56 ha.muestra⁻¹) y menor en Cayman® (0,21 ha.muestra⁻¹). La cantidad total de muestras por pastura fue de 44 para Ratana y 294 para Cayman®, de donde se tomó en forma pareada el promedio por punto por fecha, para cada pastura en cada variable analizada.

Las variables evaluadas fueron: densidad aparente (DA), las proporciones (%) de C y N; la masa de Carbono Orgánico (COS), Nitrógeno (NT) y la relación Carbono Nitrógeno (C: N) a una profundidad de 10 cm. La estimación de la COS y NT del suelo por hectárea en una lámina de 10 cm suelo se realizó usando la siguiente ecuación:

$$\text{COS} / N_t = C_s / N_s * L_s * \text{DA} * 10^4$$

Donde:

$\text{COS} = \text{Carbono Orgánico Suelo (Mg. ha}^{-1}\text{)}$

$N_t = \text{Nitrógeno Total (Mg. ha}^{-1}\text{)}$

$C_s = \text{Concentración de carbono en el suelo (g/g)}$

$N_s = \text{Concentración de Nitrógeno en el suelo (g/g)}$

$L_s = \text{Lámina de suelo (cm)}$

$\text{DA} = \text{Densidad Aparente (Mg. m}^{-3}\text{)}$

Los análisis para determinar el contenido de C N se realizaron en el laboratorio de suelos del INTA, utilizando la metodología Dumas (Gerhardt, 2015). La DA se determinó mediante cilindros de 50 mm de diámetro por 100 mm de alto, las muestras se secaron a 110°C en horno secador hasta peso constante.

El ajuste a la masa de suelo se realizó de acuerdo con lo que indica FAO (2019), en relación con la densidad aparente, partiendo de una masa compactada de suelo de $218,4 \pm 6,1$ g en un cilindro de 50 X 100 mm, con una densidad aparente de $1,1 \text{ g.cm}^{-3}$, que fue el valor promedio en el año 2012 para el sitio donde había pasto Ratana y donde luego se sembró Cayman®. Lo anterior con el fin de observar la variación del volumen con respecto a una masa constante. Para la estimación, se mantuvo el área del cilindro constante (50 mm), para observar la variación de la altura (comúnmente llamada profundidad) en función de la compactación o descompactación del suelo en los sucesivos muestreos.

Las pasturas se analizaron mediante una prueba de t Student ($p < 0,05$) y los datos de la pastura de Cayman®, se analizaron por regresión en función del tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de C y N

En la Figura 1 se observan las diferencias entre las pasturas de Ratana y Cayman® para las concentraciones de C y N. En ambos casos, el Cayman® mostró diferencias altamente significativas con respecto al Ratana.

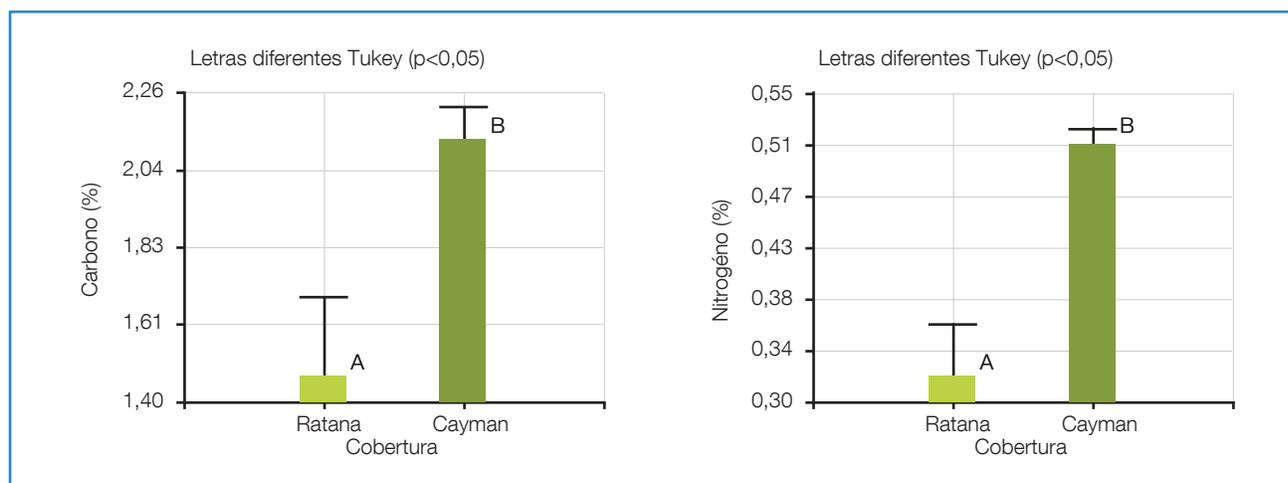


Figura 1. Concentración de C y N (%) en el suelo a 10 cm de profundidad, en dos pasturas. Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional y Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

La pastura de Cayman® luego de 6,5 años de establecida, incrementó fuertemente las concentraciones de C y N, debido posiblemente al efecto combinado del manejo con enfoque Voisin y al tipo de pasto. Concordando con lo indicado por

Fisher *et al.* (1994), Paige *et al.* (2018), Abarca *et al.* (2018), de que un manejo ordenado del pastoreo en parcelas, incrementa el C y N. En la relación C: N no se observaron diferencias significativas siendo el promedio $5,3 \pm 1,8$.

Densidad Aparente

La DA, que para efectos de suelos bajo pasturas se puede inferir como una medida del grado de compactación (FAO 2019); la misma fue significativamente menor en la pastura de Cayman® con respecto a las pasturas de Ratana, después de 6,5 años de establecidas (Figura 2).

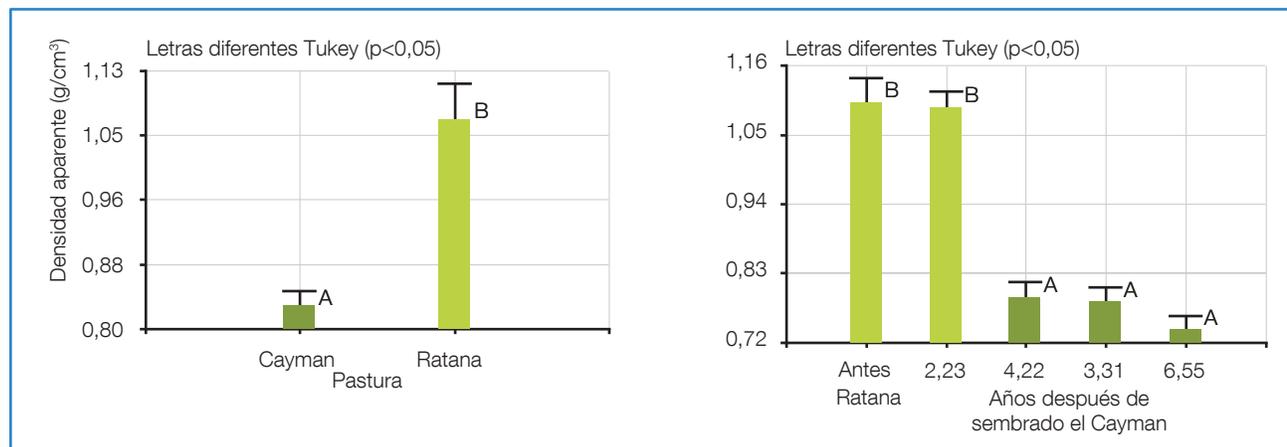


Figura 2. Densidad aparente del suelo a 10 cm de profundidad, en dos pasturas. Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional y Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

La pastura de Cayman® presentó una reducción significativa en la densidad aparente del suelo después de 4 años de establecida (Figura 2). El tipo de pastoreo utilizado pudo haber tenido influencia, ya que durante los dos primeros años el Cayman® tuvo una rotación a tiempo fijo con 30 días de descanso y 4 días de ocupación. Fue hasta en junio del año 2014, que se estableció en dicha pastura el sistema de pastoreo PRV.

Masa de nitrógeno total (NT)

En relación a la masa de Nitrógeno Total Retenido, la misma se corrigió a una masa constante de suelo; los valores observados para el pasto Cayman® en el manejo PRV, son significativamente más altos a los que presenta el pasto Ratana (Figura 3).

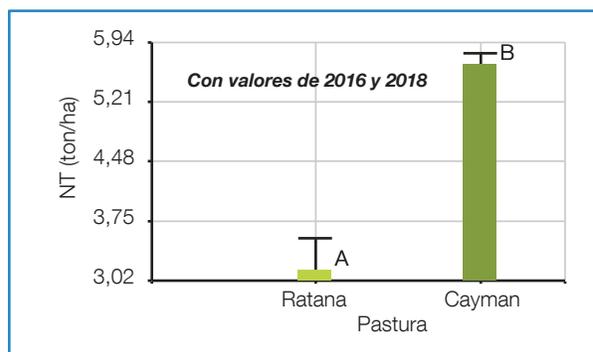


Figura 3. Masa ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1} \sim \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de Nitrógeno Total Retenido (NT) en el suelo a 10 cm de profundidad, en dos pasturas. Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional y Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

El nitrógeno es fundamental en el sostenimiento de la pastura, su calidad nutritiva y la respuesta animal. En Costa Rica, los contenidos de NT a 20 cm de profundidad en las pasturas sin fertilizar y sin mezclas de leguminosas rastreras, se sitúa en valores del orden de 5,29 Mg.ha⁻¹ (Abarca 2018), siendo similar a lo observado en la presente investigación, pero aquí se presentó a la mitad de la profundidad indicada por

Abarca (10 cm). Los sistemas naturales de los trópicos húmedos de Costa Rica, son conocidos por su alta precipitación y la misma hace que el N sea un elemento difícil de retener (Weintraub *et al.* (2016); y es a través de la vegetación compuesta por leguminosas, que los niveles de nitrógeno se mantienen en los bosques tropicales (Gei *et al.* 2018).

Adicionalidad del COS en pasto Cayman®

Se observó un incremento cuadrático significativo de la masa corregida de COS en función del tiempo (Figura 4), para la pastura de Cayman® con un manejo PRV.

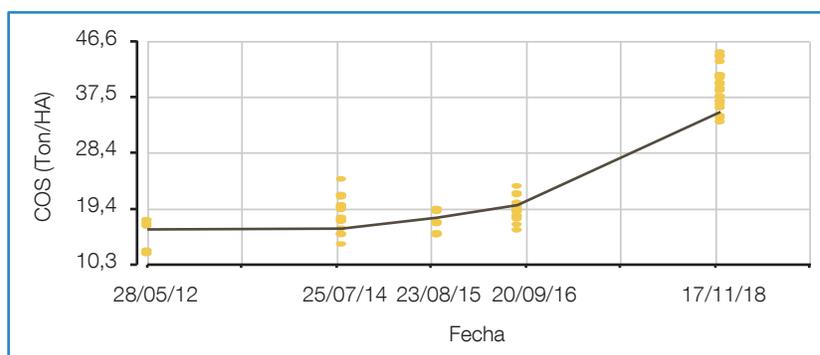


Figura 4. Adicionalidad de COS (ton ha⁻¹ ~ Mg ha⁻¹) d'el suelo a 10 cm de profundidad, en una pastura de Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

El proceso de adición del COS en la pastura de Cayman® dependió de varios factores como: la producción exuberante de biomasa por parte del tipo de pasto, (Hernández *et al.* 2020), una alta deposición de excretas y más ordenada dentro de la pastura (producto del manejo PRV) y una carga animal de aproximadamente el doble del promedio de la zona. A la vez, el proceso de acúmulo de C, se realizó de forma inversa a la descompactación del suelo; reflejada en la disminución de la densidad aparente (DA) (Figura 5).

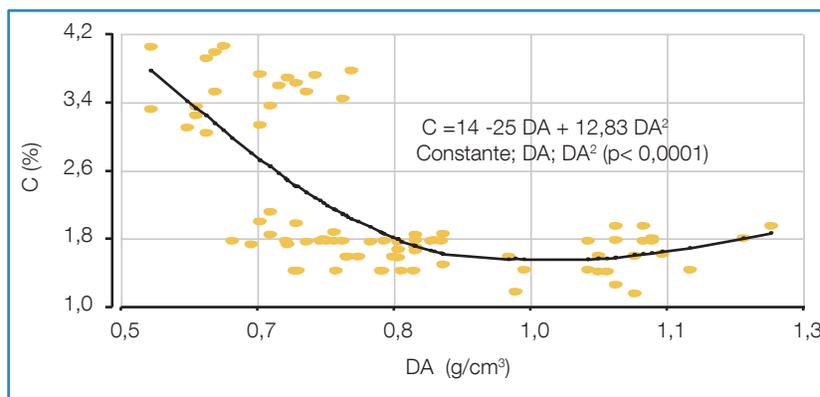


Figura 5. Concentración de C y su relación con la densidad aparente, en una pastura de Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018.

La pastura de Cayman® bajo un Pastoreo Rotacional Voisin (PRV) redujo el nivel de compactación del suelo. Se determinó, que para una misma masa (218 g) en un cilindro de 50 mm de diámetro; la misma pasó de tener 100 mm de altura a lograr alcanzar 170 mm (se produjo un

aporte de partículas y separación entre ellas). Esto es importante, porque la reducción en la compactación del suelo por incremento de la cantidad de materia orgánica, puede generar error en las mediciones debido a la variación del volumen del suelo en el sitio muestreado (Figura 6).

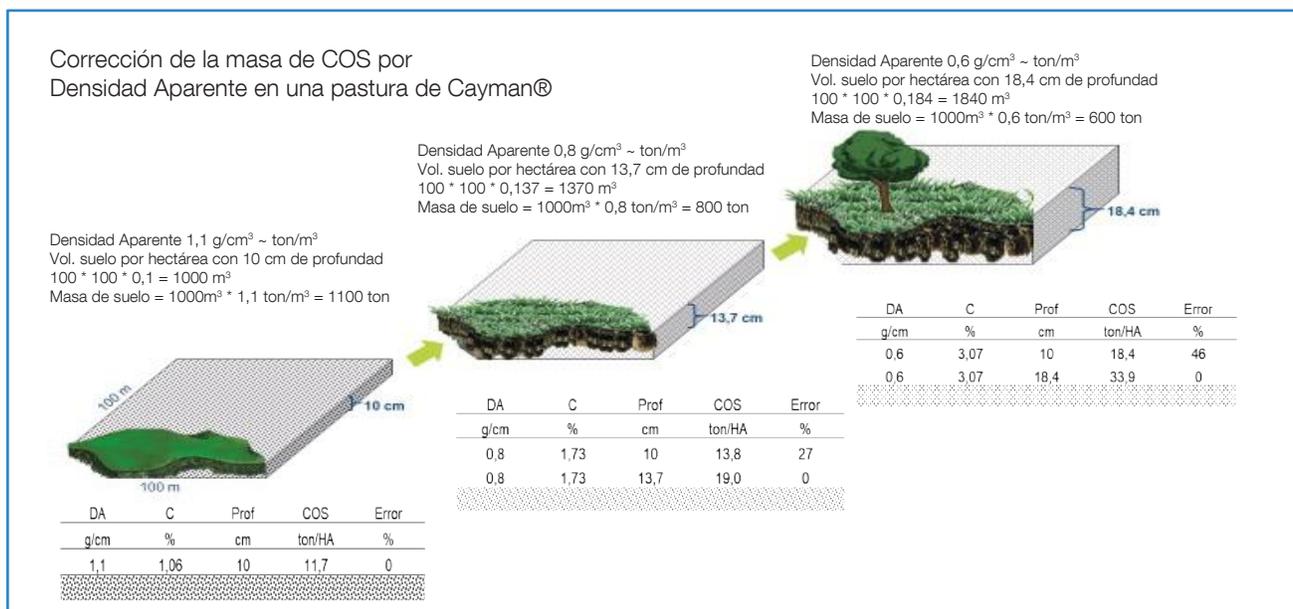


Figura 6. Corrección de la cantidad de C determinado a una masa constante de suelo, en función de la densidad aparente y la profundidad del suelo; al pasar de pasturas de Ratana (*I. indicum*) con un manejo tradicional a pastura de Cayman® con un manejo Voisin. Pococí, Costa Rica, 2018

Es posible que en las áreas de pastoreo con PRV, una porción de las emisiones de GEI puedan estar siendo compensadas por el COS (Abarca 2016). No obstante, la variación debida a factores como el tipo de suelo, la profundidad de muestreo, la topografía de las fincas, las especies de pastos utilizadas en el pastoreo, el tipo de suplementación del ganado, la fertilización que reciben y el clima de la región; podrían generar variaciones importantes en las cantidades de COS determinadas en un momento dado.

En conclusión, la posible elevación de la superficie del suelo, en sistemas que depositan importantes cantidades de materia orgánica a través del tiempo y que presentan menores valores de densidad aparente; requieren la corrección de su masa. Se recomienda, por lo tanto, tomar en cuenta las variaciones en los valores de la densidad aparente de los suelos, para los cálculos en la determinación de la adicionalidad de carbono al suelo.

LITERATURA CITADA

- Abarca Monge, MS. 2016. Emisión de gases de efecto invernadero y absorción de carbono en fincas ganaderas (en línea). *Alcances Tecnológicos* 11(1):71-73 Consultado 28 feb. 2019. Disponible en http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/30/18
- Abarca Monge, S; Arguedas Acuña, F; Soto Blanco R. 2018. Carbono orgánico del suelo y variación del nitrógeno en fincas ganaderas de cría (en línea). *Avances Tecnológicos* 12(2):05-13. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/86/70
- Abarca Monge, S; Soto Blanco R; Arguedas Acuña, F. 2018. Carbono orgánico, nitrógeno y densidad aparente en suelos de fincas con ganadería bovina de cría (en línea). *Avances Tecnológicos* 12(2):25-29. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/88/72
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership* (en línea). Rome, Italia. 170 p. Consultado 06 mar. 2019. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca2934en/CA2934EN.pdf>
- Fisher M; Rao, I; Ayarza, C; Lascano, C; Sanz, J; Thomas, R; Vera, R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas (en línea). *Nature* 31:236-238. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en <https://www.nature.com/articles/371236a0>
- Gei, M; Rozendaal, D; Poorter, L; Bongers, F; Sprent, J; Garner, M; Aide, M; Andrade, J; Balvanera, P; Becknell, J; Brancalion, P; Cabral, P; Gomes, R; Chazdon, R; Cole, R; Dalla, G; Jong, B; Denslow, J; Dent, D, DeWalt, S; Dupuy, J; Durán, S; do Espírito Santo, M; Wilson G, Ferreira, Y; Finegan, B; Granda, BV; Hall, J; Hernández Stefanoni, J; Junqueira, A; Kennard, D; Lebrija Trejos, E; Letcher, S; Lohbeck, M; Marín-Spiotta, E; Martínez Ramos, M; Meave, J; Menge, D; Mora, F; Muñoz, R; Muscarella, R, Ochoa Gaona, S; Orihuela Belmonte, E, Ostertag, R; Peña Claros, M; Pérez García, E; Piotto, D; Reich, P; Reyes García, C; Rodríguez Velázquez, R; Romero Pérez, E; Sanaphre Villanueva, L; Sanchez Azofeifa, A; Schwartz, N; Almeida, S; Almeida Cortez, J; Silver, W; Souza, V; Sullivan, B; Swenson, N; Uriarte, M; van Breugel, M; van der Wal, H; Magalhães, M; Vester, H; Guimarães, I; Zimmerman, J; Powers, J. 2018. Legume abundance along successional and rainfall gradients in Neotropical forests (en línea). *Nature Ecology & Evolution* 2:1104-1111. Consultado 08 abr. 2019. Disponible en <https://www.nature.com/articles/s41559-018-0559-6>
- Gerhardt, C. 2015. Análisis de Nitrógeno: el método de Jean Dumas. Compendio C. Gerhardt. Analytical Systems GMBM&CO. KG. Alemania.
- Guo, L.; Gifford, R. 2002. Soil Carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biology* 8(4): 345-360. Consultado 20 oct 2020. Disponible en. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
- Hernández-Chaves, M.; Abarca-Monge, S.; Soto-Blanco, R. 2020. Efecto del clima en animales pastoreando Cayman® en el trópico húmedo de Costa Rica. *Avances Tecnológicos*. Consultado 20 oct 2020. Disponible en <https://doi.org/10.35486/at.v0i0.177>
- Hernández, M.; Abarca, S.; Soto, R. 2014. Evaluación de pasto *Brachiaria* híbrido cv Cayman®, en pastoreo en el trópico muy húmedo de Costa Rica. *Revista Universidad Técnica Nacional* 16 (70):48-54.
- Holdridge L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica). 2016. Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Requisitos. INTE B5:2016.
- IPCC (Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático), 2006. Pastizales (en línea). *In Directrices para los inventarios nacionales de gases efecto invernadero*. Volumen 4 (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra) Capítulo 6. Ciudad, País. Páginas. Consultado 03 mar. 2019. Disponible en http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_06_Ch6_Grassland.pdf

Malhi, Y; Baldocchi, D; Jarvis, P. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* 22:715–740

McSherry, E; Ritchie, M. 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology* 19(5):1347-1357. Consultado 20 de oct 2020. Disponible en 10.1111/gcb.12144

Ramírez Restrepo C; Vera, R; Idupulapati, R. 2019. Dynamics of animal performance, and estimation of carbon footprint of two breeding herds grazing native Neotropical savannas in eastern Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 281:35–46.

Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after deforestation. In *soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropic of Costa Rica*. Thesis Ph. D. Ciudad, País, Wageningen University. 117 p.

Viglizzo, E; Ricard, M; Taboada, M; Vázquez Amábile, G. 2019. Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. *Science of the Total Environment* 661:531–542

Weintraub, S; Cole, R; Schmitt, C; All, J. 2016. Climatic controls on the isotopic composition and availability of soil nitrogen across mountainous tropical forest. *Ecosphere* 7(8):1-13.

DEGRADACIÓN RUMINAL EFECTIVA DE BOTÓN DE ORO (*TITHONIA DIVERSIFOLIA*)

Victoria Arronis¹, Sergio Abarca¹, Roberto Soto¹

RESUMEN

Degradación ruminal efectiva de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). El presente estudio se llevó a cabo entre 2017 y 2018, el objetivo fue determinar la degradabilidad efectiva a nivel ruminal en tres dietas habituales de uno de los forrajes arbustivos más utilizado bajo condiciones de trópico húmedo en Costa Rica, como lo es la *Tithonia diversifolia*, conocido como botón de oro. El estudio se realizó en dos fases; la primera se realizó en la *Estación Experimental La Managua* (EELM), del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) en Quepos, donde se reprodujo el ecotipo recomendado por INTA de *Tithonia diversifolia*, el cual se cosechó a los 40, 50 y 60 días de rebrote. La segunda fase se realizó en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, donde se secó por liofilización y se analizó la calidad nutricional del material cosechado en la primera fase. Posteriormente, con este mismo material se realizaron pruebas de digestibilidad in situ, velocidad de pasaje, pH y amonía a nivel ruminal en animales de la raza Brahman fistulados al rumen. Los rebrotes de 40 días de edad presentaron las mayores degradaciones ruminales potencial y efectiva. Se concluye que es una alternativa viable para mejorar dietas a base de pasto. El uso de alimento balanceado no afectó negativamente los parámetros de degradación del botón de oro. El mejor potencial alimenticio se observó en las hojas.

Palabras clave: *Tithonia diversifolia*, degradabilidad, digestibilidad, tasa de pasaje, metano entérico.

Keywords: *Tithonia diversifolia*, degradability, digestibility, passage rate, enteric methane.

INTRODUCCIÓN

Este estudio se enmarca dentro del proyecto: Desarrollando sistemas de producción ganaderos competitivos con bajas emisiones de gases de efecto invernadero en América Central, financiado por FONTAGRO-Nueva Zelanda ejecutado por CATIE.

Está claro que la calidad de los forrajes tiene gran influencia en el consumo de materia seca y la emisión de metano entérico de los bovinos

(Van Soest, 1994). En Costa Rica actualmente se ejecuta una estrategia para una ganadería baja en emisiones de carbono, que tiene como base una Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada (NAMA) (MAG 2015), la cual desarrolla acciones tendientes a la medición, registro y verificación (MRV) (MAG, 2020) sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los sistemas primarios de las agro-cadenas de leche y carne bovina.

1. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. varronis@inta.go.cr, Sede del INTA en Pérez Zeledón, Costa Rica; sbarca@inta.go.cr. y rsoto@inta.go.cr, Sede del INTA en Turrialba, Costa Rica.

En el anterior contexto, se conoce que el follaje de arbustos mejora la calidad de la dieta de los bovinos (Roldan 1981; Medina, 1988; Estrada, 1997; Galindo et al, 2014). No obstante, su uso a nivel práctico ha sido limitado por el costo y esfuerzo en sistemas de corte y acarreo (Montero 2016). El forraje de arbustos está constituido por la porción denominada biomasa comestible, compuesta por hojas, peciolos y tallos verdes de las ramas superiores de los árboles forrajeros susceptibles de ser consumidos como alimento por los herbívoros (Benavidez, 1999). Esta porción comestible constituyó el 49% del peso seco de la biomasa de ramas de *Leucaena sp* (Wencomo y Ortiz, 2012). Los tallos de la biomasa comestible de poro (*Erythrina sp*) representaron en promedio el 30% del peso seco (Rodríguez 1984).

El follaje de *Tithonia diversifolia* es uno de los forrajes arbustivos más utilizado bajo condiciones de trópico húmedo en Costa Rica, conocido como botón de oro (Arronis, 2014). Es una especie arbórea forrajera de alta digestibilidad (La O, et al. 2014; Gallego et al. 2014). Endémica de Centroamérica, que se da desde el nivel del mar hasta los 2200 msnm, donde se han identificado 34 ecotipos (Arronis 2015). Es de **fácil propagación en agroecosistemas subtropicales y tropicales húmedos, subhúmedos y montañosos** (González, et al 2014; Murgueitio et al 2015). Hay evidencias de que esta planta

acumula tanto nitrógeno en sus hojas como las leguminosas; con altos niveles de fósforo, un gran volumen radicular y habilidad para recuperar nutrientes del suelo (CIPAV 2004). Es de rápido crecimiento y baja demanda de insumos y manejo para su cultivo (Ríos 2002). Mahecha y Rosales (2005) resaltan el potencial de *Tithonia diversifolia* como forrajera. Puede alcanzar una alta concentración de carbono (C) en su biomasa aérea, mayor de 77 t/ha/año (Zavala et al 2007). La inclusión de *Tithonia diversifolia* en los sistemas silvopastoriles intensivos mejora la calidad de la dieta tradicional basada principalmente en gramíneas contribuyendo en la reducción de la emisión de metano (Donney's et al 2014). Se ha reportado que *Tithonia diversifolia* mejoró el ecosistema ruminal, al incrementar los organismos degradadores de la fibra y reducir los protozoos y metanógenos; así como poner a disposición del animal mayor cantidad de materia orgánica fermentada para la síntesis de proteína microbiana Galindo et al (2018). Existe evidencia de que esta planta es un adecuado complemento a las dietas basadas en pastos tropicales (Mahecha et al. 2005; Medina et al 2009; Gallego 2016; Ruiz et al 2016).

El objetivo del presente trabajo fue observar la dinámica de la degradación ruminal y estimar la degradación ruminal efectiva del forraje de *Tithonia diversifolia* ecotipo Quepos-INTA.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de *Tithonia diversifolia* utilizado fue producido en el banco forrajero de la Estación Experimental La Managua INTA en Quepos, en una zona de vida, de Bosque Muy Húmedo Tropical Basal (Holdridge 1978); con una precipitación anual de 4000 mm, y una temperatura diaria promedio de 26 °C. Se recolectaron muestras a los 40, 50, y 60 días de rebrote. El material se tomó de seis plantas por cada edad. Cada muestra se sub-dividió en dos sub-muestras. La

primera de aproximadamente de 300 g para la caracterización nutricional por edad (cuadro1), y la segunda se leofilizó hasta obtener 1,0 kg de MS para las pruebas en animales. Del rebrote de 50 días se obtuvo por separado una porción de hojas y otra de tallos de aproximadamente 350 g cada. Una sub-muestra de biomasa comestible a 50 días de rebrote fue analizada en el Laboratorio de Fitoquímica de la Universidad Nacional para detección de metabolitos secundarios.

Cuadro 1. Caracterización de la calidad nutricional del folrraje de *Tithonia diversifolia* utilizado. Quepos, Costa Rica. 2017.

Rebrote	PC	FDA	FDN	Lignina	Cenizas
Días	%	%	%	%	%
40	19,8	29,4	35,2	6,2	9,8
50	14,4	42,9	48,0	6,8	11,0
60	10,6	37,0	42,2	7,2	11,4

Las evaluaciones de degradación *in situ* y velocidad de pasaje se realizaron en CATIE situado a 640 m de altura en una zona de vida de Bosque Tropical Húmedo Premontano (Holdridge1978), con una precipitación anual de 2645 mm y una temperatura diaria promedio anual de 22,3°C. Se utilizaron tres animales fistulados al rumen de la raza Brahman de 2,5 años de edad y con peso promedio de 426 kg, procedentes la Estación Experimental Los Diamantes (INTA) y colocados en corrales individuales donde rotaron por tres dietas diferentes: solamente pasto, pasto más 2,5 kg MS *Tithonia diversifolia* y pasto más 2,5 kg MS de concentrado. El pasto se ofreció a libre consumo y fue king grass (*Pennisetum purpureum* * *Pennisetum thyphoides*).

Velocidad de pasaje

La estimación de la velocidad de pasaje de se realizó una vez en cuatro novillos que consumían *Tithonia diversifolia*, utilizando fibra de la misma especie impregnada con óxido de cromo como marcador de fase sólida. La impregnación con cromo se hizo de acuerdo con la técnica propuesta por Uden (1980) y modificada por Kass y Rodríguez (1989). El porcentaje de cromo (Cr) ligado fue 6,97%, por lo tanto, la cantidad suministrada de fibra amordantada fue de 104 g. Esta se introdujo directamente al rumen a través de la fístula contenida en una bolsa de papel que se rompió en lo profundo del saco ventral del rumen y se mezcló con el contenido ruminal. La colección de heces se hizo directamente del recto, tomando como tiempo cero el momento de depositar la fibra, a partir del cual los tiempos de muestreo fueron: 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 40, 48, 56, 68, 80, 104, y 123 horas. El cálculo se realizó de acuerdo al procedimiento descrito por Van Soest et al (1994) de acuerdo con el siguiente modelo matemático:

Ec. 3

$$[Cr_{MS}] = [Cr_i] * k_1 / (k_2 - k_1) * (e^{(k_1(t-TT))} - e^{(k_2(t-TT))})$$

Donde:

$[Cr_{MS}]$ = concentración de cromo en la materia seca de las heces

$[Cr_i]$ = concentración inicial de cromo en rumen al tiempo cero

k_1, k_2 = tasa de paso

TT = tiempo de tránsito

La estimación de la tasa de pasaje en el rumen (k_1) se asoció con el coeficiente b de la primera regresión y este se multiplicó por 2,303 (\ln_{10}) y 100 para expresarla como porcentaje por hora. Igualmente se procedió para la tasa de pasaje del tracto posterior (segunda regresión). Pero calculado a partir de la diferencia entre los valores extrapolados de la primera regresión y observados en los tiempos inmediatamente anteriores al tiempo donde se produjo la máxima excreción de cromo.

Degradación ruminal “in situ”

Para la determinación de la degradación “in situ” de la *Tithonia diversifolia*, se les ofreció una ración equivalente al 30% del consumo estimado en materia seca a tres animales fistulados. La evaluación tuvo una duración de 31 días, con 22 días de acostumbramiento y tres de medición por cada corrida de degradación. Se incubó por duplicado material molido a 2 mm (5 gr de forraje) en bolsas de dacrón de aproximadamente 17,0 cm de largo por 9,0 de ancho, con un poro de 52µ. Los tiempos de incubación fueron de: 1, 2, 4, 12, 18, 24, 36, 48 y 72 horas de acuerdo con la técnica descrita por Orskov et al (1980).

El cálculo de degradación *in situ* de la materia seca (MS) se realizó mediante la fórmula:

Ec. 1

$$\% \text{ Degrad} = \frac{\text{Cantidad inicial} + \text{Cantidad residual}}{\text{Cantidad inicial}} * 100$$

El modelo a utilizado en todos los casos es el propuesto por Orskov (1982), en el cual el porcentaje de material degradado (p) después de un tiempo (t) puede describirse con la ecuación:

Ec. 2

$$p = a + b (1 - e^{-ct})$$

Donde:

p = porcentaje de degradación acumulada en el tiempo t

a = intercepto de la curva de degradación cuando t = 0 (fracción inmediatamente disponible)

b = fracción que se degrada por acción microbiana

c = constante a la cual la fracción descrita como b es degradada por hora

La degradación efectiva (real) se estimó mediante la ecuación (EC.2) al tiempo promedio “t” de retención en el retículo-rumen.

Determinación de parámetros de la fermentación ruminal

Se obtuvieron muestras de licor ruminal a las 9:00 am y 3:00 pm después del suministro diario de *Tithonia diversifolia*, para determinación del pH mediante lectura directa de “pHmetro” de mano. Así como 100 ml de licor en un recipiente de vidrio para determinación de N a través de micro-Kjeldahl modificado (Kass y Rodríguez 1989).

Diseño experimental

Para las variables de la degradación ruminal obtenidos de la ecuación Ec.2, se utilizó un cuadrado latino con tres novillos, tres edades de rebrote y tres dietas de acuerdo con la metodología de Lucas (1983) para diseños de sobrecambio en alimentación de animales, con el siguiente modelo matemático:

Ec. 4

$$y_{ijk} = \mu + \sigma_i + \rho_j + \tau_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = Variable en el i-esimo animal, de la j-esima edad, de la k-esima dieta

σ_i = Efecto del el i-esimo animal (tres animales)

ρ_j = Efecto del j-esima edad (tres días de rebrote)

τ_k = Efecto del k-esima dieta (tres dietas)

ε_{ijk} = error aleatorio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de pasaje de la biomasa comestible

El cuadro 2 presenta los resultados asociados a la velocidad de pasaje de la porción comestible de *T. diversifolia*.

Cuadro 2. Parámetros de pasaje de la materia seca de *Tithonia diversifolia*. Turrialba, Costa Rica. 2017.

Parámetro	Tiempo de tránsito	Retención retículo rumen	Retención tracto posterior	Tasa de pasaje retículo rumen	Tasa de pasaje tracto posterior
Unidades	horas			% / hora	
Promedio	14,6	18,8	5,8	5,5	17,7
Rango (mín. – máx.)	14,7-16,4	15,2-22,5	4,8-6,8	4,4-9,4	14,7-20,7

En relación con la tasa de pasaje de arbustos forrajeros el rango de variación es alto, debido a las partes de planta involucradas, la relación hoja/tallo y grado de lignificación de los tallos. Estrada (1997) reporta una tasa de pasaje en el retículo rumen para hojas de morera (*Morus* sp.) entre 8,2 a 8,7 %/h, con niveles de retención en el retículo rumen entre 12,2 y 13,5 horas. Mientras que Abarca (1988) trabajando con material comestible de poró (*Erythrina poeppigiana*) reporta tasas de (4,7 y 5,3 %/h), con tiempos de retención entre 18,7 y 21,1 horas. Por otra parte, en pastos de baja calidad; Pulido (1990) con paja de jaragua (*Hiparrhenia rufa*), encontró tasa de 3,4 y 3,9 sin tratar y tratadas con urea respectivamente hasta con 30 horas de permeancia en el rumen y 20 horas en el tracto posterior, lo que asoció a consumos bajos de 2% del peso vivo.

Degradación de la materia seca de la biomasa comestible

En el cuadro 3 se observan los parámetros de degradación de la materia seca de la biomasa comestible para las diferentes edades de rebrote. En la fracción “a” (fracción inmediatamente disponible), no se observó diferencias entre las edades de 40 y 60 días de rebrote, mientras la edad de 50 días fue significativamente más baja. Para la fracción “b” la cual necesita acción microbiana para su degradación, se observó que la edad de 40 días presentó un valor significativamente mayor que las otras dos edades. La degradación potencial fue significativamente mayor a los 40 días de rebrote con respecto a las otras dos. Para las tasas de degradación “c” de la materia seca de la fracción “b” las edades 40 y 60 fueron significativamente diferentes, mientras que la de 50 no mostró diferencias entre los rebrotes de 40 y 60 días. Las tres edades se comportaron diferente en relación con la digestibilidad efectiva.

Cuadro 3. Parámetros de degradación ruminal de la materia seca de *Tithonia diversifolia* a tres edades de rebrote. Turrialba, Costa Rica. 2017.

Edades	Fracción “a”	Fracción “b”	Tasa “c”	Degradación Potencial	Degradación Efectiva
Días	%		% / hora	%	
40	30,4 a	48,3 a	0,07 a	78,7 a	61,8 a
50	25,5 b	35,7 b	0,08 ab	61,3 b	50,3 b
60	29,0 a	34,9 b	0,09 b	63,9 b	55,1 c
EE	0,76	1,17	0,0005	0,74	0,85

En las tres edades la degradación potencial fue superior al 60%, lo que se considera adecuado para un forraje tropical, siendo similar a los valores observados en otros follajes arbustivos como: brotes no mayores de 20 cm de *Leucaena leucocephala* y madero negro (*Gliricidia sepium*) reportados por Roldan (1981), y muy superior a los valores reportados para poró (*Erythrina poeppigina*) por Medina (1988), y dentro del rango reportado por Cardona et al (2017) de degradación ruminal para esta especie de 65% *in vivo*, y 67% *in situ*, a las 48 horas. La digestibilidad efectiva a los 40 días de rebrote fue semejante a las hojas de morera (*Morus alba*) evaluadas por Estrada (1997) siendo la mejor edad de rebrote.

En relación a las dietas de los animales en las cuales se incubó el forraje de *T. diversifolia*

(Cuadro 4) no se observaron diferencias significativas para las fracciones a y b, así como para la degradación potencial. Las tasas de degradación de la fracción “b” las dietas de solamente pasto y pasto más *T diversifolia* fueron significativamente diferentes entre sí, mientras la dieta con pasto más concentrado no presentó diferencias con respecto a las otras dos. La degradación efectiva fue mayor en las dietas con suplementos (*T. diversifolia* y concentrado) respecto a la de solamente pasto. Los resultados de las tasas y la degradación efectiva, observados en este estudio indican que: para análisis de digestibilidad *in vitro* o *in situ* de forrajes arbustivos tropicales como este, es imperativo que los animales donantes de licor ruminal o donde se va a incubar el material a probar, estén consumiendo el forraje a probar.

Cuadro 4. Parámetros de degradación ruminal de la materia seca de *Tithonia diversifolia* a tres dietas diferentes. Turrialba, Costa Rica. 2017.

Dietas	Fracción “a”	Fracción “b”	Tasa “c”	Degradación Potencial	Degradación Efectiva
	%		% / hora	%	
Pasto	27,4 a	40,2 a	0,07a	67,6 a	52,4 a
Pasto + Concentrado	28,9 a	39,4 a	0,08 ab	68,3 a	56,9 b
Pasto + T diversifolia	28,6 a	39,4 a	0,09 b	67,9 a	57,3 b
EE	1,1	1,6	0,01	1,1	0,85

Se observó un efecto animal para tasa de degradación “c” y digestibilidad efectiva, donde un mismo animal presentó valores significativamente menores a los otros dos. Lo anterior sugiere que incluso en razas adaptadas a los forrajes y ambiente tropical puede darse diferencias en el comportamiento de consumo de algunos animales.

Degradación de la hoja y el tallo (50 días de rebrote)

Se observaron diferencias significativas entre hojas y tallos, para las fracciones “a” inmediatamente disponible, “b” acción microbiana y degradación potencial. No se obtuvo diferencias para la tasa de degradación de la fracción b, aunque se observó una tendencia a ser mayor en la hoja con respecto al tallo (Cuadro 5). Tampoco se observó diferencias en relación las dietas para las dos porciones de la planta bajo estudio.

Cuadro 5. Parámetros de degradación ruminal de la materia seca de hojas y tallos de *Tithonia diversifolia* a 50 días de rebrote. Turrialba, Costa Rica. 2017.

Biomasa comestible	Fracción “a”	Fracción “b”	Tasa “c”	Degradación Potencial
Parte	%		%/hora	%
Hoja	28,6 a	70,6 a	0,11 a	98,9 a
Tallo	24,3 b	32,3 b	0,07 a	56,7 b
EE	1,1	1,4	0,02	0,6

De acuerdo con los datos anteriores, y considerando que el tallo constituye la mayor proporción de la masa comestible, este tiene una gran influencia en el nivel de degradación que alcance el forraje ofrecido. Por lo tanto, en sistemas de suplementación de corte y acarreo es fundamental observar la relación tallo/hoja, debido a

que la proporción de forraje de *T. diversifolia* con volúmenes elevados de tallo podría generar una reducción de la digestibilidad de la ingesta total. Mientras, los sistemas a “ramoneo” donde el animal puede seleccionar mejor la porción y cantidad a consumir podrían producir una mejora efectiva en la degradación promedio de la ingesta.

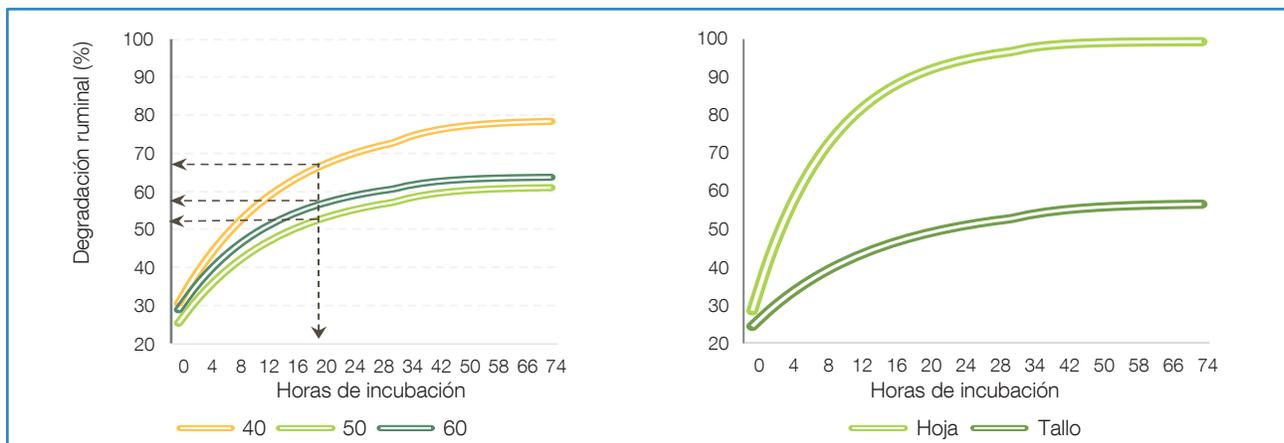


Figura 1. Curva de degradación ruminal efectiva y potencial de biomasa comestible de *Tithonia diversifolia* a tres edades de rebrote, hoja y tallo. Turrialba, Costa Rica. 2017.

Parámetros de la fermentación ruminal

No se obtuvo diferencias significativas entre dietas para el pH ruminal siendo el promedio $6,99 \pm 0,15$. Sin embargo, se observó diferencias, entre días y entre la mañana y la tarde debido al manejo de la alimentación, concordado con lo reportado por Medina (1988) cuando suplemento forraje de poró (*Erythrina poeppigiana*). Se considera que los niveles de pH observados en los alimentos suplementados (concentrado y *Tithonia*) están en el rango apropiado para una adecuada fermentación

de los forrajes (Orskov 1982). Shirley (1986) cita que con un pH entre 7,5 y 7,0 se obtuvo la mejor degradación de la FDN de pasto Orchardgrass (*Dactylis glomerata*).

Para los niveles de nitrógeno amoniacal, se observó diferencias entre la dieta solamente pasto y pasto más concentrado, la dieta con *T. diversifolia* no fue diferente a las dos anteriores (figura 2).

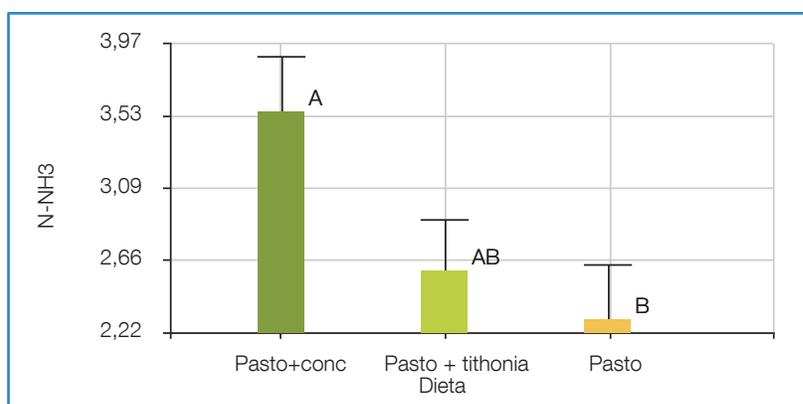


Figura 2. Niveles de $N-NH_3$ ruminal de animales alimentados con base en pasto king grass (*Pennisetum purpureum* * *Pennisetum thyphoides*) suplementado con concentrado o *Tithonia diversifolia*. Turrialba. Costa Rica. 2017.

Los valores obtenidos en esta investigación son más altos que los reportados por Holguin (2016) utilizando ensilado de pastos con *Tithonia*, pero más bajos que los reportados por Medina (1988) con mezclas de poró (*E. poeppigiana*) y Estrada (1997) para niveles de suplementación similares.

Se concluye que: la mejor edad de acuerdo con los parámetros de degradación, pasaje amonio y pH ruminal observados en este estudio

fue la de 40 días de rebrote. El forraje de *Tithonia diversifolia*, en una relación hoja/tallo adecuada constituye una alternativa viable para mejorar dietas a base de pasto de baja calidad. El uso de 2,5 kg de alimento balanceado comercial no afectó negativamente los parámetros de degradación del botón de oro, por lo que es posible su combinación. El mejor potencial alimenticio se observó en las hojas, por lo que es necesario innovar en sistemas que favorezcan el consumo de esta parte de la planta.

LITERATURA CITADA

Abarca, S. 1988. Efecto de la suplementación con poro (*Erythrina poeppigiana*) y melaza sobre la producción de leche de vacas pastoreando estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*). Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, CR. 68p.

Arronis, V. 2014. Bancos forrajeros de energía y proteína como estrategia para enfrentar los efectos negativos del cambio climático. INTA - CORFOGA. 13 p.

Arronis, V. 2015. Validación de la utilización del forraje botón de oro (*Tithonia diversifolia*), en sistemas intensivos de producción de carne en la Región Brunca. Informe Final. Departamento Pecuario. INTA. San José, Costa Rica. 29 p.

Benavides, J. 1999. Árboles y arbustos forrajeros: una alternativa agroforestal para la ganadería. In: Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica. FAO Producción y sanidad animal 143: 449-477.

Cardona, L; Mahecha, L; Angulo J. 2017. Effect on off *in vitro* fermentation of mixture of *Tithonia diversifolia*, *Cenchrus clandestinum* and polyunsaturated fats. Mesoamerican Agronomy 28:405-426.

CIPAV. 2004. Sistema Agroforestal, Banco de forraje de leñosas, árboles y arbustos en Sistemas Silvopastoriles. Cali, Colombia 102 p.

Donney's, G; Molina, IC; Rivera, JE.; Villegas, G; Chará, J; Barahona, R. 2015. Producción *in vitro* de metano de dietas ofrecidas en sistemas silvopastoriles intensivos con *Tithonia diversifolia* y sistemas tradicionales. CIPAV. III Congreso SS – VIII Congreso de AF. 661-667p.

Estrada, X. 1997. Efecto de sustitución de King grass (*Pennisetum purpureum* * *Pennisetum typhoides*) por morera (*Morus* sp) sobre los parámetros de degradación y fermentación ruminal de cuatro forrajes de calidad contrastante. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, CR. 65p.

Galindo, J; Blanco, G; Rodríguez, I. 2018. Silvopastoral system with *Tithonia diversifolia*: effect on the rumen microbial populations of cows. Instituto de Ciencia Animal. Revista Pastos y Forrajes. 41(4):273-278.

Galindo, J; González, N; Scull, I; Marrero, Y. 2014. Efecto de *Samanea saman*, *Albizia ibbebeck* y *Tithonia diversifolia* en la población de meta-nógenos y en la ecología microbiana ruminal. Instituto de Ciencia Animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 46(3):1-7.

Gallego, L. 2016. Evaluación agronómica y análisis productivo (*Tithonia diversifolia*) como suplemento alimenticio de vacas lecheras en trópico alto. Tesis M.Sc. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Gallego, LA.; Mahecha, L.; Angulo, J. 2014. Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* (HAG) en la producción de vacas lecheras. Agronomía Mesoamericana 25(2):393-403.

González, JC; Hahn von Hessberg, C; Narvaez, W. 2014. Características botánicas de *Tithonia diversifolia* y su uso en la alimentación animal. Boletín Científico. p. 45-58.

Holdridge, L 1978. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.

- Holguin, V. 2016. Optimización de *Tithonia diversifolia* ensilada como alimento para ovinos de pelo. Tesis Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. 163 p.
- Kass, M.; Rodríguez, G. 1989. Evaluación nutricional de Forrajes, Costa Rica CATIE. 43 p.
- La O, O; González, H; Orozco, A; Castillo, Y. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ*, digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. Revista Cubana de Ciencias Agrarias 46(1):47-53.
- Lucas, HR. 1983. Design and analysis of feeding experiments with milking dairy cattle. Recopied of an original mimeographed copy, by Biomathematics Graduate Program, Department of Statistic. N.C., North Carolina State University. p. 16-1 a 16-51 (Mimeo. Serie 18).
- Mahecha, L; Rosales, M; 2005. Valor nutricional del botón de oro (*Tithonia diversifolia* HG) en la producción animal en el trópico. Livestock Research for Rural Development. 17(9).
- Medina, M; García, D; González, L. 2009. Variables morfoestructurales y de calidad de la biomasa de *Tithonia diversifolia* en la etapa inicial de crecimiento. Zootecnia Tropical 27:121-134
- Medina, P. 1988. Efecto de la suplementación con poro (*Erythrina poeppigiana*) y melaza sobre la fermentación ruminal y la degradabilidad *in situ* del poro y el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, CR. 94p.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2015. NAMA Ganadería Costa Rica. 27 p.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). 2020. Metodología de Medición, Reporte y Verificación de la Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada para la Ganadería Bovina. Periodo 2019-2020. 24p.
- Montero, E. 2016. evaluación de las propiedades fermentativas, nutricionales y el costo de elaboración de ensilaje de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y *Cratylia argentea* con niveles crecientes de inclusión de guineo cuadrado (*Musa sp*), para alimentación de rumiantes. Tesis UCR. 60 p.
- Murgueitio, E; Calle, Z; Chará, J. 2015. Sistemas agroforestales, function productiva, socioeconómica y ambiental. Informe Técnico 402. CATIE, Costa Rica – CIPAV, Colombia. 454 p.
- Orskov, ER. 1982. Methods of measuring degradability of feed nitrogen. In: Protein nutrition in ruminants. London, Academy Press. p. 45-63.
- Orskov, ER; Hovell, RO; Mould, F. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. Producción Animal Tropical (R.D.) 5(3):213-233.
- Pulido, J. Efecto de la amonificación con urea sobre el valor nutritivo y parámetros de digestión ruminal de la paja de jaragua (*Hyparrhenia rufa*). Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, CR. 130p.
- Ríos, CI. 2002. Uso, manejo y producción de botón de oro (*Tithonia diversifolia*). Tres especies vegetales promisorias. CIPAV, Colombia. 211 p.
- Rodríguez, R. 1984. Producción de biomasa del poro (*Erythrina poeppigiana* (walpers) O.F. Cook) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. Typhoides*) intercalados, en función de la densidad de siembra y frecuencia de poda del poro. Tesis CATIE. 53p.
- Roldan, G. 1981. Degradación ruminal de algunos forrajes proteicos en función del consumo de banano verde suplementario. Tesis M.Sc. UCR/ CATIE. Turrialba, CR. 71p.
- Ruiz, T; Alonso, J; Febles, G; Galindo, J. 2016. *Tithonia diversifolia*: I. Estudio de diferentes materiales para conocer el potencial de biomasa y calidad nutritivo. Instituto de Ciencia Animal, Cuba. 20(3):63-82.
- Shirley, R. 1986. Nitrogen and energy nutrition of ruminants. University of Florida. Gainesville. Pp 44.
- Van Soest, P. 1994. Nutritional Ecology of Ruminant. 2nd ed. Cornell University. USA. 479 p.
- Wencomo, H; Ortiz, R. 2012. Comportamiento de la disponibilidad de biomasa y la composición química en 23 accesiones de *Leucaena spp*. Pastos y Forrajes. 35(1): 43-56.
- Zavala, Y; Rodríguez, JC; Cerrato, M. 2007. Concentración de carbono y nitrógeno a 6 frecuencias de poda en *Tithonia diversifolia* y *Morus alba*. Revista Tierra Tropical. 3:221.

ECLOSIÓN DE ADULTOS DE MOSCA DEL ESTABLO (*STOMOXYS CALCITRANS*) A PARTIR DE LA INCORPORACIÓN DEL RASTROJO DE PLANTAS DE PIÑA AL SUELO

Yannery Gómez-Bonilla¹, Oscar Bravo Bonilla

RESUMEN

Eclosión de adultos de mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) a partir de la incorporación del rastrojo de plantas de piña al suelo. Los estadios inmaduros del ciclo de vida de la mosca del establo se desarrollan en materia orgánica en descomposición. Cuando se trituran las plantas de piña, atrae a las moscas y las hembras colocan sus huevos en los rastrojos y las larvas se alimentan de los exudados que se producen conforme avanza la descomposición de la planta. La práctica mecanizada de incorporar el rastrojo de piña, es una enmienda recomendada para no exponer material a la oviposición de la mosca y por lo tanto reducir la posibilidad de emisión de adultos de mosca al ambiente. El objetivo fue determinar la eclosión de adultos de la mosca del establo en campo, a partir de la incorporación del rastrojo de plantas de piña al suelo.

Para comprobar la efectividad de esta enmienda, se dio seguimiento a tres lotes de una hectárea en Fincas piñeras ubicadas en Pital de San Carlos durante los años 2013 y 2014. Las plantas de piña fueron derribadas en verde, trituradas e incorporado al suelo mediante dos pases de rastra. En cada lote se colocaron cinco trampas horizontales tipo mesa (constituidas por bolsas de plástico blancas 25x20 cm a las que se le aplicó pegamento Zalpicol® en la parte inferior), colocadas a una distancia de 20 cm del suelo. Las trampas se evaluaron y cambiaron todas las semanas hasta que no se capturaron más moscas. En el sitio A, evaluado en la época lluviosa, se capturaron un total de 1473 moscas durante ocho semanas de evaluación, en el sitio B, se capturaron 263 durante siete semanas y del sitio C que se evaluó en época seca, se capturaron un total de 41 moscas en seis semanas de estudio. Los resultados son congruentes con otros estudios donde a pesar del entierro de rastrojos y la compactación del suelo se determinó emergencia de moscas o bien, una fluctuación poblacional de moscas que podrían originar un brote, por lo que los daños a explotaciones pecuarias que se encuentran cercanas a la plantación se seguirán presentando. Se deben continuar con otras alternativas para la captura y eliminación la mosca del establo en el rastrojo de piña.

Palabras clave: mosca del establo, materia orgánica, descomposición, ganado.

keywords: stable fly, pineapple stubble, decomposition of plants, livestock.

1 Yannery Gómez-Bonilla, PhD. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Apartado Postal 10094, San José, Costa Rica. yangomez27@yahoo.com, Oscar Bravo exfuncionario del INTA. Este estudio forma parte de un proyecto de investigación financiado por el INTA y Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITTACORI), San José, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

La mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*) es una plaga de mucha importancia en el ganado en países como USA, generando grandes pérdidas económicas. Esta mosca es un parásito externo, hematófago, ampliamente distribuido y que afecta de manera importante el ganado de carne o lechero y en altas poblaciones causa efectos adversos, tanto por la pérdida de sangre, como por las molestias e irritación que provocan (Cruz-Vázquez *et al.* 2000). Se ha reportado que la mosca del establo se reproduce muy bien en rastrojo de vegetales en descomposición tales como: piña, hortalizas, caña de azúcar (Solórzano *et al.* 2015; Cook *et al.* 1999; Koller *et al.* 2009)

Las estrategias de control se pueden complicar y ser poco efectivas, debido a que *S. calcitrans* posee un comportamiento biológico diversificado que le permite utilizar sitios alternativos de reproducción, movimientos de migración y el uso de múltiples huéspedes; así el desarrollo y la implementación de estrategias de control, requiere comprender los diversos aspectos que conforman su ciclo de vida, tanto a nivel de los estados inmaduros como de los adultos (Patterson 1981). Para el combate de una plaga es necesario conocer diferentes aspectos de una población específica (Duque 1996). Un sistema agrícola es un conjunto de procesos interconectados caracterizado por unas vías recíprocas de causa y efecto (Grant *et al.* 2001). La mosca del establo es la causante de la molestia de estrés y fatiga en los animales en un sistema que está compuesto por ganado de carne o leche, ganado semiestabulado y piñeras. La presencia y aumento poblacional de la mosca del establo que se reproduce en el material en descomposición de la piña, no afecta en nada al cultivo de la piña, pero impacta al ganado directamente y las piñeras pueden sufrir la clausura de sus fincas en caso de que la vigilancia fitosanitaria lo ordene.

Otra opción para bajar las poblaciones de moscas, abogan por enterrar materiales orgánicos infestados con larvas de mosca y pupas para prevenir una mayor oviposición en el material y evitar emergencia de moscas adultas. Klungness y colaboradores (2005) enterraron fruta infestada con moscas tefritidas como una medida sanitaria recomendada en Hawaii. Spencer, en el año 1947 dio la recomendación que los lugares donde se depositaba la basura y los rellenos sanitarios debían cubrirse diariamente con suelo para evitar que se reprodujera la mosca doméstica. Sin embargo (Cook *et al.* 2020) citando a (Smirnov 1942; Black y Barnes 1956) indican que aplicar suelo sin una debida compactación, no evita que salgan moscas del establo y que estos estudios no indican el nivel de compactación necesario para evitar la salida de los adultos.

Parte de las recomendaciones para ayudar a bajar los niveles de mosca de establo en el rastrojo de piña en Costa Rica fue descrito por González (2012), éste citó “existen dos técnicas o prácticas para la eliminación del rastrojo de piña: la convencional, que incluye la aplicación de herbicida como desecante para disminuir la biomasa de la planta (quema con fuego en algunos casos). Después las labores agrícolas de mecanización e incorporación del rastrojo al suelo, previamente a la derriba, es necesario realizar una chapia manual o mecánica cortando el follaje, para promover el desecamiento, acelerar su descomposición y disminuir la cantidad de rastrojo a procesar e incorporar”.

A pesar de que se realizan estas medidas en muchas de las fincas, los ganaderos han denunciado altas poblaciones de la mosca aún después de ser incorporado el rastrojo al suelo, por lo que este estudio tiene como objetivo determinar la eclósión de adultos de la mosca del establo en campo, a partir de la incorporación del rastrojo de plantas de piña al suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en tres diferentes sitios de derriba de una hectárea de extensión, donde se dio seguimiento al rastrojo del cultivo de piña después de ser incorporado al suelo. Este trabajo fue realizado en una finca comercial de la zona de Pital de San Carlos de la provincia de Alajuela, Costa Rica, con un área de 80 ha. El periodo del estudio fue entre los años 2013 y 2014. En la zona se registró un rango de temperatura de 25 a 29 °C, una humedad relativa de 80 a 95 % y la precipitación varió desde 150 a 780 mm (Base de Datos de PINDECO).

Las piñeras comerciales acostumbran sembrar de manera escalonada, áreas de producción de 1 a 5 ha, dependiendo de la disponibilidad del terreno neto cultivable, la capacidad de siembra, la demanda del mercado, entre otros. El primer sitio (A) muestreado y que se dio seguimiento, se evaluó durante ocho semanas en los meses

de julio-agosto. Los sitios B y C, pertenecen a la misma finca, pero en diferentes lugares evaluados en los meses siguientes de ese mismo año. El sitio (B) se evaluó de octubre a diciembre y el sitio (C) de diciembre a febrero del 2013 al 2014.

Para realizar este ensayo, se esperó a que la finca derribara las plantas con una trituradora y posteriormente se hizo el pase de una rastra de disco pesados, la cual fue pasada dos veces con una semana de separación. para cubrir con suelo los rastrojos según su actividad agrícola normal (Figura 1). Posteriormente se preparó el terreno para la nueva siembra del cultivo de piña. Cabe destacar que el tiempo de trituración en los tres sitios de estudio se efectuó en aproximadamente dos semanas, pero en ocasiones puede tardar hasta un mes según las condiciones ambientales imperantes en el momento y la disponibilidad de la maquinaria.



Figura 1: Uso de maquinaria con discos pesados para incorporar rastrojos de plantas de piña al suelo. Pital de Alajuela, Costa Rica. 2014. Foto de la izquierda facilitada por el Ing. Erick Vargas.

Una vez preparado el terreno se colocaron las trampas en zigzag a lo largo del terreno de manera equidistante (formando una W), se colocaron al azar cinco trampas horizontales (tipo mesa), con bolsa blanco de 25x20 cm en una hectárea de terreno, a una altura 20 cm del suelo, sostenidas con cuatro estacas. La parte inferior de la bolsa se impregnó con pegamento Zalpicol[®] el cual se diluyó con 20% con gasolina regular. Todas las semanas se revisaron las trampas y se contaron todos los adultos de mosca del establo que emergieron del suelo y pegados en la bolsa, luego se colocaba una nueva bolsa. Las trampas fueron evaluadas durante varias semanas, hasta que no se capturaron más moscas.

Análisis de datos

Se realizó ANDEVA con un modelo lineal generalizado con repeticiones en el tiempo para los conteos de adultos para determinar la cantidad de adultos capturados, con separación de medias utilizando Prueba de Tukey, en el Programa INFOSTAT 2015 (Di Rienzo *et al.* 2008). Análisis de coeficiente de correlación de Pearson para medir la asociación entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este es el primer estudio en Costa Rica donde se evalúa la emergencia de adultos de mosca del establo, después de la incorporación de rastrojos del cultivo piña en el suelo como medida preventiva para la reproducción de la mosca del establo, evaluado con trampas horizontales impregnadas con pegamento Zalpicol (Figura 2). Las capturas realizadas en los sitios de estudio permitieron monitorear la cantidad de adultos de mosca del establo que emergen del suelo, después de un proceso normal de compactación del rastrojo de piña (Figura 3).

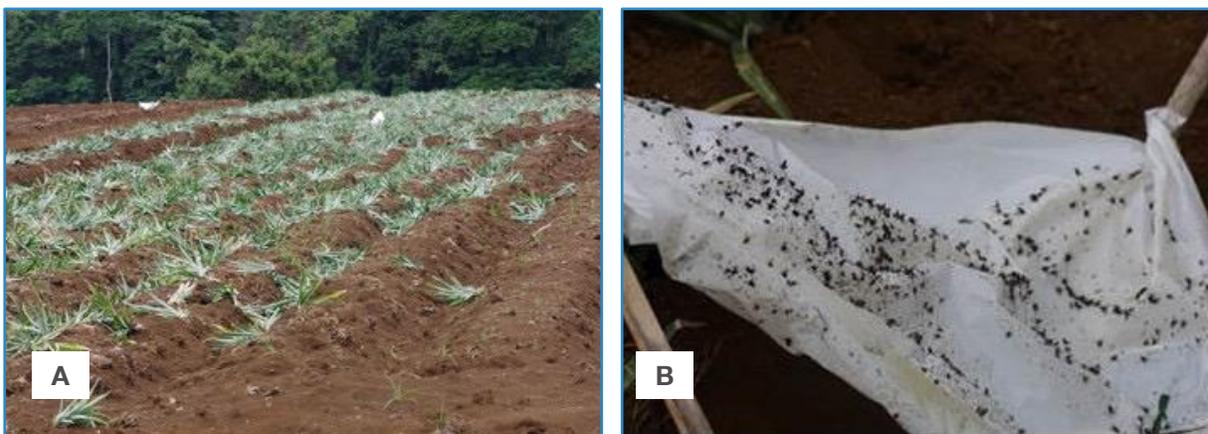


Figura: 2: A. Terreno donde se está sembrado de nuevo el cultivo de piña. B. Trampa mostrando insectos capturados de mosca del establo. Pital de Alajuela, Costa Rica. 2014.



Figura 3: Trampa horizontal en rastrojo de piña recién incorporado. Pital de Alajuela, Costa Rica. 2014.

En la Figura 4, se presenta el conteo semanal de adultos en el sitio A, se contaron 140 individuos en la primera semana, con un pico máximo de 614 especímenes en la quinta semana y se capturó en total 1473 moscas. Durante las tres primeras semanas hubo alta precipitación (140 mm) y se capturaron en promedio 100 moscas. A la semana siguiente cuando la precipitación fue menor, se observó un incremento en la cantidad de moscas capturadas hasta el pico máximo observado. Cuando se da la primera fase de la derriba con la trituración de la biomasa de la plantación de piña, se da la atracción para que la mosca del establo (Solorzano *et. al.* 2015) y empiece a ovipositar. Posteriormente la rastra va mezclando e incorporando el rastrojo con la tierra, es posible que este quede a una profundidad de unos 40 cm y los diferentes estadios de la mosca del establo se encuentren en el rastrojo en un rango de 0-40 cm. En este caso, la lluvia podría bloquear los espacios que utiliza la mosca para abrirse paso entre

el terreno o incluso crear una mayor compactación en el suelo. La compactación es un proceso que causa un aumento de la densidad aparente, acompañada por una disminución en el volumen de aire (Hossne *et al.* 2009). Sin embargo, en el estudio de (Tahir y Ahmad 2013) el suelo compactado sobre la basura (25 cm de profundidad) no evitó la aparición de mosca doméstica. Watson *et al.* (1998) mostró que el entierro realizado con disco, grada y arado de vertedera se incorporó estiércol en el suelo a profundidades de 0, 2,5, 7,5, 15, 22,5 y 30 cm no redujeron la emergencia de la mosca doméstica adulta, y en el estudio de Cook *et al.* (2020) realizado en el laboratorio, mostró que el suelo arenoso, cuando está húmedo y compactado, reduce la capacidad de los adultos de moscas del establo para emerger de la tierra. El estudio de Klunness *et al.* (2005), con la mosca tefritida del melón determinó que los adultos no pueden emerger si los frutos están enterrados a más de 40 cm de profundidad.

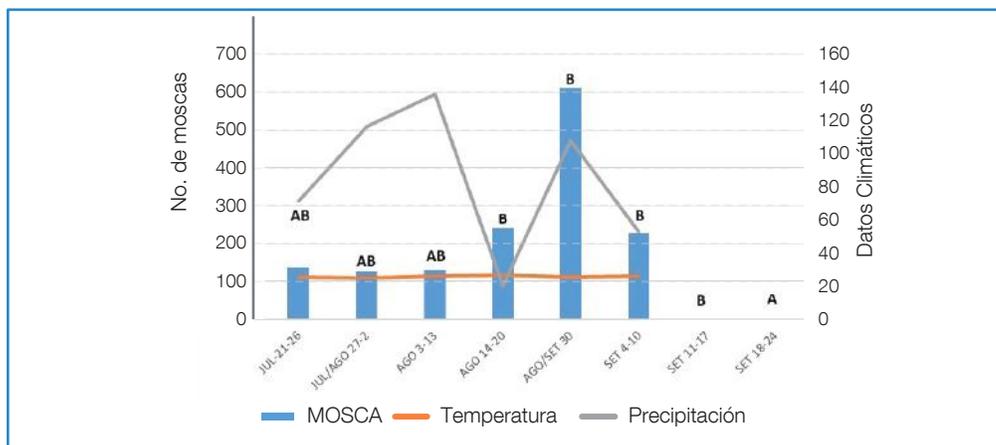


Figura 4: Captura de moscas en el Sitio A, la columna derecha representa la precipitación (mm) y temperatura (°C). Pital de Alajuela, Costa Rica. 2013.

Cuadro 1: Análisis de medias de Tukey, Sitio A de las siete semanas de evaluación de captura de mosca del establo, después de enterrado el rastrojo. Pital de Alajuela. 2013.

Semana	Medias	n	E.E.		
7	0	5	9,85	A	
2	25,2	5	9,85	A	B
3	25,8	5	9,85	A	B
1	27,6	5	9,85	A	B
6	45,4	5	9,85		B
4	48,4	5	9,85		B
5	122,2	5	9,85		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El análisis de varianza mostró que existen diferencias altamente significativas ($F=15,47$, $p < 0,0001$), en época de lluvia. La fluctuación de lluvia en esa zona es muy variada, puede llover 140 mm en un solo día, o una leve llovizna cada día durante toda la semana o en forma intermitente (llueve-se detiene-llueve). En la (Figura 4) se observa la precipitación total del mes. Las medias de Tukey del sitio A, indican que las semanas cuatro, cinco y seis son las de mayor captura de adultos, en comparación con la semana siete donde no se captura mosca (Cuadro 1). El análisis de correlación de Pearson, muestra que a mayor precipitación hay más altas temperaturas (96 % y 91% respectivamente) esto ayuda a que se acelere la descomposición (Cuadro 2).

En el sitio B, durante la primera semana se capturaron 38 moscas y en la segunda semana hubo un pico máximo de 97 individuos

(Figura 5). En este sitio no se dieron diferencias significativas entre las semanas de muestreo ($F=3,76$, $p < 0,0118$). No obstante, la correlación de Pearson indica que hay una relación entre la precipitación y la temperatura máxima observada. De manera que a medida que llueve más temprano y esporádicamente, las temperaturas son más altas durante el día y esto ayuda que se dé una mayor aceleración en la descomposición de la planta de piña (Cuadro 2). Básicamente la trituración atrae a la mosca, ahí ellas empiezan a ovipositar, con la lluvia y altas temperaturas se da una mayor descomposición del material vegetal y las moscas continúan con su ciclo de vida y otras moscas llegan a colocar sus huevos en este material, de ahí, las altas poblaciones de la mosca. Al enterrarse el material, se corta el ciclo, pero el material que contenía los huevos, larvas y pupas, continua su ciclo hasta salir el adulto.

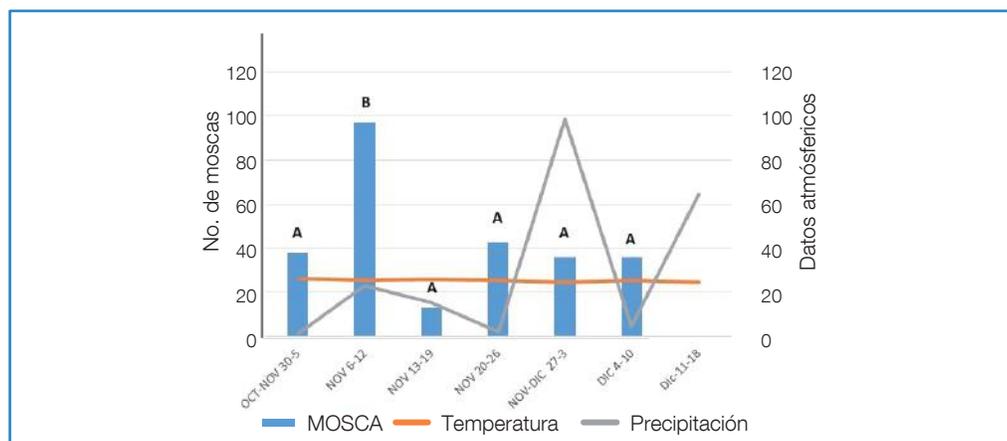


Figura 5: Captura de moscas en el Sitio B, la columna derecha representa la precipitación (mm) y temperatura (°C). Pital de Alajuela, Costa Rica. 2013.

Por último, en el sitio C se capturaron 26 adultos en la segunda semana y durante las semanas posteriores se observó un descenso en la captura cinco o menos moscas por muestreo (Figura 6). Cuando se trabajó en este sitio, la época seca estaba iniciando por lo que había una reducción significativa de la precipitación (en diciembre de 1,8 mm y en febrero de 0,4 mm). La desecación puede ralentizar la descomposición de las plantas haciendo el rastrojo menos atractivo para la oviposición. El estudio de (Tahir y Admad 2013) con mosca doméstica, dice que el suelo mojado de cobertura podría haber mantenido la humedad del medio de cría a un nivel adecuado para el desarrollo de la larva temprana y etapas

posteriores a la eclósion, hasta la aparición de los adultos, además indican que la humedad tiene un efecto limitante añadido sobre las pupas, independientemente de si el suelo estaba compactado o no. Toyama (1988) encontró que 25 cm de compactación de suelo húmedo resulta en un mayor número de la mosca doméstica respecto a un suelo "suelto". La mayoría de los suelos de la zona de Pital son clasificados como ultisoles e inceptisoles, los cuales se desecan con facilidad (Mata *et al.* 2013). No se dan diferencias significativas entre las semanas de evaluación ($F=2,01$, $p < 0,1667$) y la correlación de Pearson determina que la asociación más alta se da entre la lluvia y la temperatura mínima (Cuadro 2).

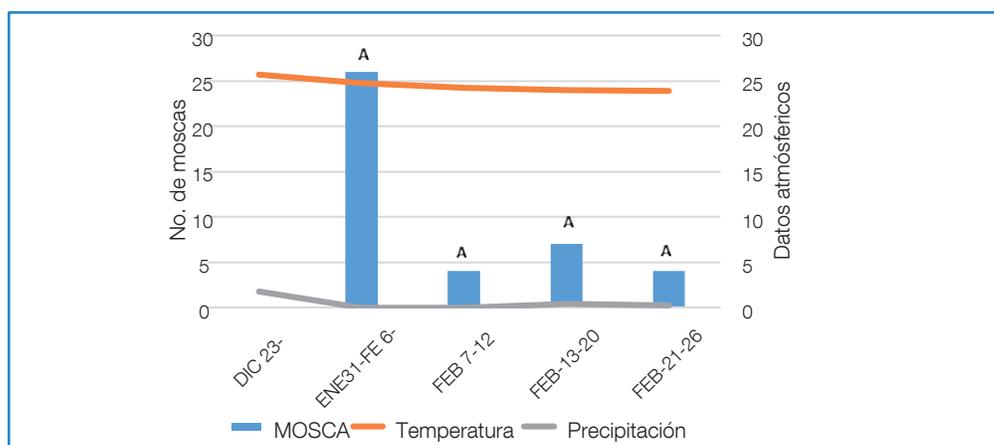


Figura 6: Captura de moscas en el Sitio C, la columna derecha representa la precipitación (mm) y temperatura (°C). Pital de Alajuela, Costa Rica. 2013-2104.

Cuadro 2: Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades de los tres sitios de muestreo de mosca del establo. Pital de Alajuela, Costa Rica. 2012.

SITIO A					
	Mosca	MIN TEMP	PROMEDIO	MAX TEMP	LLUVIA
Mosca	1	0,32	0,92	0,91	0,96
MIN TEMP	-0,49	1	0,92	0,59	0,41
PROMEDIO	-0,05	0,06	1	0,01	0,17
MAX TEMP	0,06	-0,28	0,93	1	0,27
LLUVIA	0,02	-0,42	-0,64	-0,54	1
SITIO B					
Mosca	1	0,69	0,66	0,55	0,62
MIN TEMP	0,19	1	0,55	0,88	0,89
PROMEDIO	0,2	0,28	1	4,70E-03	0,01
MAX TEMP	0,28	-0,07	0,91	1	4,60E-03
LLUVIA	-0,23	-0,07	-0,9	-0,91	1
SITIO C					
Mosca	1	0,68	0,1	0,17	0,58
MIN TEMP	-0,32	1	0,16	0,73	0,1
PROMEDIO	0,9	0,73	1	0,39	0,11
MAX TEMP	0,83	-0,22	0,5	1	0,85
LLUVIA	-0,42	0,99	0,8	-0,12	1

La planta de piña recién triturados, y el material en descomposición atraen a la mosca del establo (Gómez-Bonilla, 2018; Solórzano *et al.* 2015; Gómez-Bonilla y Solórzano en imprenta,) y se llenan de huevos, larvas y pupas. Al triturar, muchos de los individuos son destruidos y otros tantos quedan pegados entre las hojas y el tallo. Resultados similares se describen en el estudio realizado por Cook *et al.* (2011), donde se contabilizaron >1000 moscas del establo por metro cuadrado en hortalizas y se encontró que la mosca

del establo predominaba en los restos de materia orgánica en descomposición sobre otros insectos. Taylor *et al.* (2012), han reportado que, en un sitio de alimentación de heno de tamaño promedio, se pueden capturar hasta 200.000 moscas del establo.

El incorporar el rastrojo de piña al suelo, es una enmienda recomendada porque los niveles de mosca se pueden reducir hasta en un 80% (Gómez-Bonilla, 2018) el suelo crea una barrera

para la oviposición. De manera que es conveniente mantener esta práctica, sin embargo, en este y otros estudios (Watson *et al.* 1998; Tahir y Ahmad 2013) se comprueba que el entierro de la materia orgánica en descomposición no impide que cierto porcentaje de moscas tengan la capacidad de terminar su ciclo y emerger del suelo semanas después.

Según, Cook *et al.* (2020), el entierro de larvas y/o pupas de moscas del establo con un grado de compactación de > 2 toneladas /m² resultó en una prevención total de la emergencia de adultos. Esto representa un dato importante y novedoso sobre el grado de compactación necesaria para mitigar esta mosca; por lo que, para futuras investigaciones es recomendable evaluar diferentes niveles de compactación y en diferentes épocas

del año para obtener un resultado de prevención como el mencionado anteriormente. Además, una vez enterrado el rastrojo, hay que implementar otras medidas de combate, por ejemplo, uso de parasitoides de pupas o larvas y continuar el uso de trampas pegajosas, al menos durante un mes después del proceso de incorporación al suelo de los rastrojos.

Agradecimientos

A la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (Fittacori), por financiar esta actividad, lo cual permitió el desarrollo de una adecuada investigación.

LITERATURA CITADA

Black, RJ; Barnes, AM. 1956. Effect of earth cover on housefly emergence. *Public Works* 87:109–111.

Cruz-Vázquez, C; Martínez, RS; Vitela, ML. 2000. Variación anual de la infestación por *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae) en tres establos lecheros de Aguascalientes, México. *Tec Pec Mex* 38:135-142.

Cook, DF; Deyl, RA; Lindsey, JB; D'Antuono, MF; Telfer, DV; McPharlin, IR. 2020. Burial and Compaction of Sandy Soils to Prevent Emergence of Adult Stable Fly (Diptera: Muscidae) at the Soil Surface (en línea). *Journal of Economic Entomology* 113(3):1315–1322. Consultado día. Mes. Año. Disponible en doi: 10.1093/jee/toaa015

Cook, DF; Dadour, IR; Voss, SC. 2011. Management of stable fly and other nuisance flies breeding in rotting vegetable matter associated with horticultural crop production. *Int. J. Pest Manag.* 57:315–320.

Cook, DF; Dadour, IR; Keals, NJ. 1999. Stable fly, house fly (Diptera: Muscidae), and other nuisance fly development in poultry litter associated with horticultural crop production. *J. Econ. Entomol.* 92:1352–1357.

Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2008. *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA Cordoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.

Duque Echeverri, M. 1996. Patrones de disposición espacial y su importancia en la definición de un plan de muestreo en MIP. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 24 p.

Gómez-Bonilla, Y. 2018. Muestreo y fluctuación poblacional de mosca del establo en rastrojo de piña. *Alcances Tecnológicos* 12(1):25-36.

Gómez-Bonilla, Y; Solórzano, A. 2020. Dinámica poblacional de *Stomoxys calcitrans* en rastrojo de piña y ganadería en Costa Rica. *Avances Tecnológicos*. En prensa.

González Alfaro, LA. 2012. Manual técnico para el manejo de rastrojos en el cultivo de piña Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Servicio Fitosanitario del Estado. San José, C.R.: MAG/SFE. 18 p.

- Grant, WE; Pedersen, EK; Marín, SL. 2001. Ecología y manejo de recursos Naturales: Análisis de Sistemas y Simulación. San José, Costa Rica, IICA.12 p
- Hossne García, AJ; Mayorca Jaime, YN; Salazar Bastardo, LD; Subero Llovera, FA; Zacillo Contreras, AM. 2009. Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. Revista Científica UDO Agrícola 9(4):937-950.
- Koller, WW; Catto, JB; Bianchine, I; Soares, CO; Paiva, F; Tavares, LER; Graciolli, G. 2009. Outbreaks of the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, in Mato Grosso Sul: new problem for the productive chains of flesh and sugarcane? Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. 31 p.
- Klungness, L M; Jang, EB; Mau, RFL; Vargas, RI; Sugano, JS; Fujitani, E. 2005. New sanitation techniques for controlling Tephritid fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. J. Appl. Sci. Environ. Mgt. 9:5-14.
- Mata Chinchilla, R; Vásquez Morera, A; Rosales Ibarra, A. 2013. Principales suelos de Costa Rica (en línea). Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. www.mag.go.cr > bibliotecavirtual. Consultado el 22 de setiembre del 2020.
- Patterson, RS. 1981. Importance of monitoring house fly and stable fly immature and adult populations in IPM programs using biocontrol. Status of biological control of filth flies. Gainesville, FL USDA. 32 p.
- Smirnov, ES. 1942. Mechanical control of the larvae and pupae of synanthropic flies. Med. Parasitol. I. Parazitar. Bolenzi, Moskva 11:97-105.
- Solórzano, JA; Gilles, J.; Bravo, O; Vargas, C; Gómez-Bonilla, Y; Bingham, GV; Taylor, DB. 2015. Biology and trapping of stable flies (Diptera: Muscidae) developing in pineapple residues (*Ananas comosus*) in Costa Rica. J. Insect Sci. 15: 145-150.
- Spencer, CC. 1947. Recommended wartime refuse disposal practice. Supplement No. 173 to the Public Health Reports. 19 p.
- Tahir, NA; Ahmad, AH. 2013. Effects of compaction and wetting of laterite cover soil on development and survival of *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) immatures. J. Med. Entomol. 50:999-1002.
- Taylor, DB; Moon, RD; Mark, DR. 2012. Economic impact of Stable Fly (Diptera: Muscidae) on beef cattle production. J. Med. Entomol. 49:198-209.
- Toyama, GM. 1988. A preliminary survey of fly breeding at sanitary landfills in Hawaii with an evaluation of landfill practices and their effect on fly breeding. Proc. Hawaii. Entomol. Soc. 28:49-56.
- Watson DW; Rutz, DA; Keshavarz, k; Waldron, JK. 1998. House fly (*Musca domestica* L.) survival after mechanical incorporation of poultry manure into field soil. J. Appl. Poult. 7:302-308.

EFECTO DE LA QUEMA EN CAÑA DE AZÚCAR SOBRE EL CARBONO DE UN ANDISOL

Johnny Montenegro-Ballester¹, Marcos Chaves-Solera²

RESUMEN

Efecto de la quema en caña de azúcar sobre el carbono de un Andisol. En la producción de caña de azúcar la quema previa a la cosecha es una práctica común, la cual reduce la biomasa que potencialmente se incorporaría al suelo, por ello, se asume que disminuye el carbono orgánico del suelo. Esta investigación cuantificó en Turrialba, Costa Rica, el carbono orgánico por unidad de suelo en una plantación comercial de caña de azúcar, con y sin la práctica de quema previo a su cosecha. En el 2019 se implementó un diseño irrestricto al azar y se evaluaron tres tratamientos: a) un año de renovación de la plantación y cosecha en verde sin quema (testigo, T0), b) un año de renovación (T1) y c) cuatro años de renovación con quema previo a la cosecha (T4); todos con tres repeticiones. En ellas se recolectaron muestras de suelo hasta 70 cm de profundidad. Se determinó interacción ($P < 0,0018$) entre la profundidad y la quema en el contenido carbono orgánico, los valores disminuyeron marcadamente con la profundidad en T4 comparados a los de T0 y T1. La relación C/N del suelo se incrementó significativamente ($P < 0,0001$) con las veces que se quema previo a la cosecha, ya que los valores fueron mayores en T4 con respecto a los determinados en T0 y T1. El nitrógeno del suelo fue mayor ($P < 0,0016$) en T0 y T1 con respecto a T4. Se determinó correlación ($P < 0,0001$) entre el COS y el N, así como también entre la CE y el carbono, y entre el contenido de arcilla y carbono. Es notorio el efecto detrimental provocado por la quema en el contenido de carbono orgánico del suelo.

Palabras clave: Cambio climático, mitigación, gases con efecto invernadero, trópico, cultivos tropicales.

ABSTRACT

Effect of sugar cane burning on the carbon of an Andisol. In the commercial production of sugarcane, the pre-harvest burning is a common practice, however it reduces part of the organic matter that would be incorporated into the soil, so it is assumed that it causes the decrease of soil organic carbon. This investigation quantified in Turrialba, Costa Rica, the organic carbon per unit of soil in a commercial sugarcane plantation, with and without the pre-harvest burning practice. A randomized unrestricted design was implemented and

1 Autor para correspondencia. jmontenegro@inta.go.cr Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) – Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica, ORCID: 0000-0001-8526-570X

2 Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA) Costa Rica, email: mchavez@laica.co.cr; ORCID: 0000-0001-9646-5491

three treatments were evaluated: one year of plantation renewal and green harvest (without burning) (control, T0), one (T1) and four (T4) years of plantation renewal with pre-harvest burning, all with three repetitions. The soil samples up to 70 cm deep were collected. There was determined that the organic carbon decreased with depth, determining interaction ($P < 0.0018$) with the burning practice being higher the values in T0 and T1 with respect to those of T4. The carbon content was lower in the deeper layers of the soil when burned four times. The C/N ratio varied significantly ($P < 0.0001$) with the times that the burning prior to the plantation harvest is applied; the values of this ratio increased in T4 with respect to those determined in T0 and T1. The soil nitrogen was higher ($P < 0.0016$) in T0 and T1 than in T4. Correlation ($P < 0.0001$) was determined between the C/N and N content, as well as between C/N and carbon, and between clay and carbon content. The detrimental effect of burning on the content of organic carbon in the soil profile is clear.

Keywords: Climate change, mitigation, greenhouse gases, tropic, tropical crops.

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente 8,7 Gt (1 Gigaton = 1 billón de toneladas) de carbono se emiten a la atmósfera cada año a escala global, generadas a partir de fuentes de origen antropogénico (Lal 2008). En este contexto, el carbono orgánico del suelo (COS) y su potencial para convertirse en un sumidero para el dióxido de carbono atmosférico, ha sido ampliamente discutido en la literatura científica mundial debido al potencial y las ventajas que ofrece ante el creciente problema que el CO_2 viene ocasionando (Luo *et al.* 2010).

Se estima que aproximadamente 2 344 Gt de COS se almacenan en los 3 m superiores del suelo, con 54% en el primer metro y cerca del 26% en los primeros 20 cm (Jobbágy y Jackson 2000; Guo y Gifford 2002), lo cual representa más de cuatro veces el carbono biótico terrestre que es de alrededor de 560 Gt.

Es por esta razón, que el suelo ha sido reconocido como un importante contribuyente al secuestro de carbono atmosférico y los sistemas agrícolas han sido identificados por el aporte que pueden realizar en este sentido, ya que pueden aumentar su contenido de carbono cuando son tratados y orientados hacia ese objetivo (Lal 2004; West y Post 2002). Se infiere de lo anterior, la importancia y necesidad de incorporar e implementar prácticas agrícolas que contribuyan

a mantener e incrementar el contenido de COS y evitar por otra parte, realizar actividades que vayan en detrimento de los contenidos ya existentes.

De manera que, asociando la dirección del cambio acontecido en la cantidad de carbono, con las prácticas de manejo del mismo, se podrían identificar aquellas que contribuyen ostensiblemente con el mantenimiento, incremento y/o disminución del carbono del suelo, lo cual es de suma importancia para interpretar y sustentar con buen criterio y argumento técnico, la sostenibilidad y el mejoramiento del sistema de producción agrícola.

Una práctica antigua pero comúnmente empleada en la agricultura mundial para facilitar la preparación del suelo, previo al establecimiento de un nuevo cultivo, o bien la cosecha manual o mecánica de diferentes productos, es la quema de la biomasa en el campo. Sin embargo, con ella se pierde por volatilización durante la combustión gran cantidad de carbono, así como también nitrógeno (N) y azufre (S) (Chaves 1999, 2017). Es en este contexto, que la quema ha sido identificada como una práctica que potencialmente puede contribuir a la degradación del suelo debido a la disminución del contenido de materia orgánica y a la pérdida de nutrimentos esenciales que podían incorporarse al mismo.

La quema reduce parte de la materia orgánica que eventualmente se incorporaría al suelo, lo que varía significativamente de acuerdo con las condiciones del entorno, valorado en indicadores tales como: clima, edad de la planta y grado de turgencia de la materia vegetal, entre otras, las que determinan la “calidad de quema” que se genere (Chaves 2006a, 2006b, 2019a, b, 2020a, b). Se asume por ello, que la combustión de la biomasa provoca la disminución del COS, lo cual tiene un rol clave en el balance global de carbono y la productividad agroindustrial del cultivo. La dinámica del carbono orgánico contenido en el suelo tiene, por tanto, una implicación local crítica y directa para el sistema de producción agrícola y otra global, relacionada directamente con el cambio climático.

Lo anterior es apoyado por Sornpoon *et al.* (2013), quienes determinaron que, en una plantación de caña de azúcar sin quema durante cinco años consecutivos, se aumentó el COS a una tasa de $1,37 \text{ Mg ha}^{-1}\text{a}^{-1}$. También reportaron que la quema condujo a la reducción aproximada del 15% del total de carbono en el horizonte superficial del suelo (0-30 cm).

De igual manera, Galdos *et al.* (2009) trabajando en un Oxisol arcilloso en Brasil, determinaron que el contenido de carbono total del suelo en los primeros 10 cm fue 30% mayor en un lote de caña no quemado, comparado con otro en donde sí se realizó quema. En otro estudio efectuado también en Brasil, la tasa de acumulación de carbono en el suelo fue de $320 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ luego de 12 años de conversión de la cosecha de quemado a verde (La Scala *et al.* 2012). Otras investigaciones sobre el mismo tema muestran la misma tendencia (La Scala *et al.* 2006; Robertson y Thorburn 2007; Franzluebbers 2010).

La distribución del carbono orgánico en el perfil del suelo es otra consideración para tomar en cuenta cuando se valora y estima el secuestro de carbono. Aunque los estudios típicamente se enfocan y concentran en los 10-20 cm superiores del perfil del suelo (Franzluebbers 2010), es reconocido que pueden existir cantidades apreciables de carbono en horizontes internos más profundos (Jobbagy y Jackson 2000).

Los mecanismos de acumulación de carbono en el subsuelo consideran la incorporación de las raíces y sus exudados, el transporte vertical de materia orgánica disuelta y la bioturbación (Rumpel y Koegel-Knabner 2011), lo que es particularmente relevante porque al localizarse más profundo, tiende a tener un tiempo de residencia más prolongado (Rumpel *et al.* 2002; Schöning y Kögel-Knabner 2006). En este sentido, la caña de azúcar posee un sistema radical robusto, profuso y profundo que contribuiría significativamente a incrementar la presencia de esta forma de carbono más estable en el suelo. Estudios previos muestran que hay evidencia de que el COS puede acumularse en el subsuelo; por ejemplo, en Australia se determinó que sitios con antecedente de ser cultivados sistemáticamente por muchos años con caña de azúcar, tenían más carbono orgánico a una profundidad de 50-80 cm con respecto a los sitios con pocos años de mantenerse bajo cultivo (Skjemstad *et al.* 1999).

En Costa Rica, la quema en los sistemas de producción comercial de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es muy antigua, está tutelada y regulada legalmente y los productores deben seguir y aplicar un protocolo técnico para poder efectuarla (Chaves y Bermúdez 2006b, 2020b). Es una práctica mediática y muy cambiante que se realiza en aproximadamente el 60% del área sembrada; sin embargo, no existe información relacionada con posibles variaciones del COS como resultado de la aplicación de esta práctica en Costa Rica.

Es por ello que se hace interesante y necesario cuantificar no solo el contenido y distribución del carbono en el perfil del suelo, sino también los cambios que podrían estarse produciendo en el tiempo en la cantidad de carbono acumulado en el suelo como consecuencia de la quema de plantaciones comerciales de caña de azúcar.

Por lo anterior, el objetivo principal de la presente investigación fue cuantificar el contenido de carbono orgánico del suelo en una plantación comercial de caña de azúcar, con y sin ejecución de la práctica de quema previa cosecha, ubicada en condiciones agroclimáticas típicas del trópico húmedo (Turrialba, Cartago).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el 2019 en una finca comercial productora de caña de azúcar situada en el cantón de Turrialba, provincia de Cartago, Costa Rica, donde se seleccionaron lotes comerciales homogéneos en cuanto a características de suelo (drenaje, textura, topografía, grado de fertilidad), en los cuales, basados en la ejecución o no de la práctica de la quema para ejecutar la cosecha, se identificaron parcelas con características análogas donde se realizaron los muestreos de suelo.

2.1. Ubicación

El estudio se efectuó en la finca “La Isabel”, situada en la región de Turrialba (10°32′ Latitud Norte, 85°15′ Longitud Oeste y 630 msnm). Se realizaron muestreos en un suelo del orden taxonómico Andisol, suborden Udands, de origen volcánico. La región se clasifica como Bosque Húmedo Tropical (Holdridge 2000) y presenta temperatura y precipitación promedio anual de 22,9°C y 2 411 mm, respectivamente.

La estrategia utilizada para estudiar la dinámica temporal del carbono del suelo se basó en una cronosecuencia, que consiste en evaluar áreas similares y homogéneas en cuanto a condiciones de suelo, clima y topografía, en este caso con diferentes períodos de aplicación de la quema.

2.2. Manejo de la plantación

Esta finca ha estado produciendo caña por más de 25 años consecutivos, con renovación de las plantaciones agotadas cada seis años. La distancia de siembra utilizada es de 1,5 m entre surcos y la fertilización consiste en la aplicación de 135, 27 y 210 kg de N, P₂O₅ y K₂O ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente, en ciclo soca o retoño. El control de malezas se realiza mediante la aplicación de herbicidas químicos en pre emergencia. La corta de la caña se efectúa una vez al año a la edad de 12 meses, por lo general entre febrero y marzo.

En la plantación donde se utilizó la práctica de la quema se seleccionaron parcelas que presentaban diferente edad luego de la siembra y renovación del cultivo: uno y cuatro años, en las cuales se realizaron los muestreos de suelo. En el caso de las parcelas donde no se quemó, solamente se pudo disponer de un lote representativo con edad de renovación de un año (12 meses).

2.3. Variedades cultivadas

Las variedades sembradas comercialmente fueron: B76-259, B77-95 y RB 86-7515, todos materiales genéticos de muy alta aceptación y distribución en la región de Turrialba y otras localidades cañeras del país, debido a sus características agroindustriales favorables (Chaves 2018a, b).

2.4. Tratamientos

Como se mencionó previamente, se incluye la variable quema, una práctica que se ejecuta aproximadamente en el 60% del área sembrada de caña de azúcar en Costa Rica, por lo que los tratamientos evaluados en lotes comerciales fueron:

1. Cosecha en verde (sin quema) que operó como Testigo, T0.
2. Plantación con un año de renovación con quema previo a la cosecha, T1.
3. Plantación con cuatro años de renovación con quema previa a la cosecha, T4.

Hay que aclarar, que las parcelas de cosecha en verde han sido con anterioridad regularmente quemadas, exceptuando la cosecha posterior a la renovación, lo cual implica que, al momento de realizar el muestreo del suelo, esas parcelas tenían aproximadamente 16 meses desde la última quema y solamente un año en el cual se incorporó todo el material vegetal remanente de la cosecha. Los otros dos tratamientos se ubican en parcelas con largo historial de quemadas continuas.

En cada tratamiento se establecieron tres parcelas de muestreo que actuaron como repeticiones.

2.5. Muestreo del suelo

Se realizaron muestreos de suelo en cada repetición y para cada condición evaluada: quema y no quema. Las muestras de suelo fueron obtenidas de acuerdo con la metodología utilizada por el Department of Environment and Heritage Protection (2016) y fueron recolectadas en el punto establecido entre la distancia media de la entrecalle y el centro del surco.

El muestreo de suelo se efectuó con un equipo mecánico marca Eijkelkamp provisto de un barreno cilíndrico diseñado para tomar muestras no disturbadas. Las muestras recolectadas en el campo se clasificaron de acuerdo con su profundidad, siguiendo la metodología del IPCC (2006), en la cual los primeros 30 cm se dividieron en secciones de 10 cm y a partir de esa profundidad en secciones consecutivas de 20 cm hasta obtener la máxima profundidad (70 cm) a la que se pudo introducir el barreno. El punto de muestreo se registró con GPS.

2.6. Diseño experimental y análisis estadístico

Se implementó un diseño experimental irrestricto al azar con tres tratamientos y tres repeticiones. Los datos fueron analizados realizando un ANDEVA y la comparación de medias mediante la prueba de Tuckey al 5%, utilizando la diferencia mínima significativa (DMS) en InfoStat (DiRienzo *et al.* 2018).

2.7. Análisis de laboratorio

Las muestras de suelo recolectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) de Costa Rica, donde se determinaron: densidad aparente por el método del cilindro; carbono y nitrógeno mediante combustión seca de Dumas y textura por el método de Bouyucos. El pH se determinó en agua (relación suelo-agua 1:2,5) utilizando un potenciómetro; en el caso de la conductividad eléctrica, esta se determinó por el método de la pasta seca.

2.8. Cálculo de carbono

Como primer paso en el cálculo del contenido de carbono presente en el suelo, se hizo la corrección a masa equivalente de suelo (MES), para lo cual se utilizó la siguiente ecuación (Livestock Environmental Assessment and Performance 2018):

Ec. 1

$$\text{MES} = \frac{\sum M_{bi}}{\sum V_{bi}} * t_i * 100$$

Donde:

- MES (t suelo ha⁻¹) es la masa equivalente de suelo (se utilizará en la Ecuación 3),
- n es el número de muestras agrupadas,
- $\sum M_{bi}$ (t) es la suma de las masas de las muestras agrupadas,
- $\sum V_{bi}$ (m³) es la suma de los volúmenes de todas las muestras agrupadas,
- t_i (cm) corresponde a la profundidad de muestreo aplicada.

El contenido de carbono en el suelo se calculó de acuerdo con la Ecuación 2, como sigue:

Ec. 2.

$$\text{COS (t C ha}^{-1}\text{)} = \text{CO}_i * P_i * \text{densidad}_i$$

Donde:

- COS (t C ha⁻¹): es la cantidad de carbono orgánico del suelo, CO_i (mg C g⁻¹ suelo): es el contenido de carbono orgánico presente en la muestra *i*,
- P_i (cm): es la profundidad a la que se tomó la muestra *i*,
- Densidad (g cm⁻³): es la Densidad Aparente de la muestra *i*.

Finalmente, se comparó el contenido de carbono orgánico del suelo por tonelada de suelo de acuerdo con la Ecuación 3:

Ec. 3

$$\text{COS (kg C t}^{-1} \text{ suelo): } \text{COS}_i \text{ (t C ha}^{-1}) / \text{MES (t de suelo ha}^{-1}) * 1.000$$

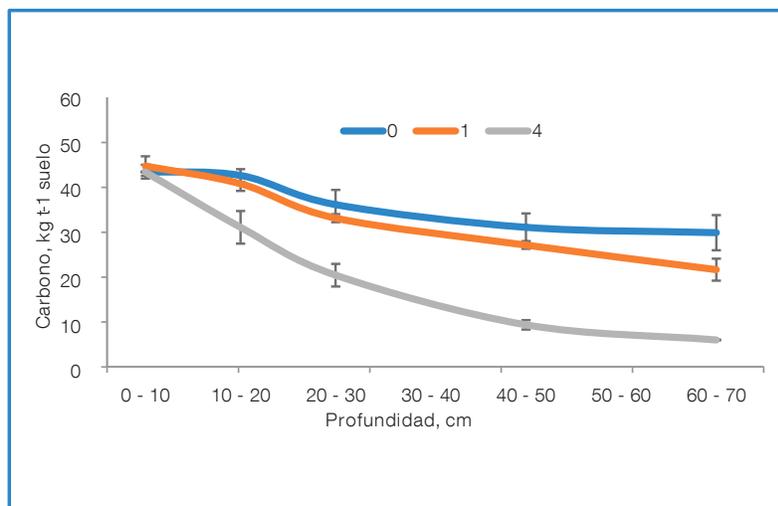
Donde:

- COS (kg C t⁻¹ suelo): cantidad de carbono orgánico del suelo por tonelada de suelo a la profundidad *i*,
- COS_{*i*} (t C ha⁻¹): cantidad de carbono orgánico del suelo a la profundidad *i*,
- MES (t de suelo ha⁻¹): masa equivalente de suelo calculada para cada área de estudio (Ec. 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Distribución del carbono orgánico en el perfil del suelo

El contenido de carbono en el perfil del suelo presentó la misma tendencia en todas las parcelas muestreadas, disminuyendo su concentración con la profundidad (Figura 1).



Valores promedio ± 1 error estándar (EE)

0, 1, 4: veces que se ha aplicado la quema

Figura 1. Distribución del carbono orgánico en el perfil de un suelo con diferente número de quemadas en caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

Un aspecto que destacar es el hecho de que no hubieron diferencias estadísticas en los valores de carbono orgánico determinados en la parcela no quemada (T0) y aquella donde solo se realizó una quema (T1), aunque en ésta última hubo tendencia a mostrar menor contenido de carbono. La parcela con cuatro quemadas (T4) mostró valores inferiores de carbono los cuales disminuyeron con la profundidad (Figura 1).

3.2. Contenido de carbono orgánico del suelo según profundidad

Se determinó interacción ($P < 0,0018$) entre la profundidad (cm) y la práctica de la quema en la cantidad de carbono contenido en el suelo (Cuadro 1).

Los valores de carbono fueron mayores en las capas superiores del suelo y con la excepción de los primeros 10 cm de profundidad en T4, la cantidad disminuyó de manera significativa con respecto al número de quemas realizada y la profundidad de muestreo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido de carbono por tonelada de suelo, según profundidad y quema en un cultivo de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

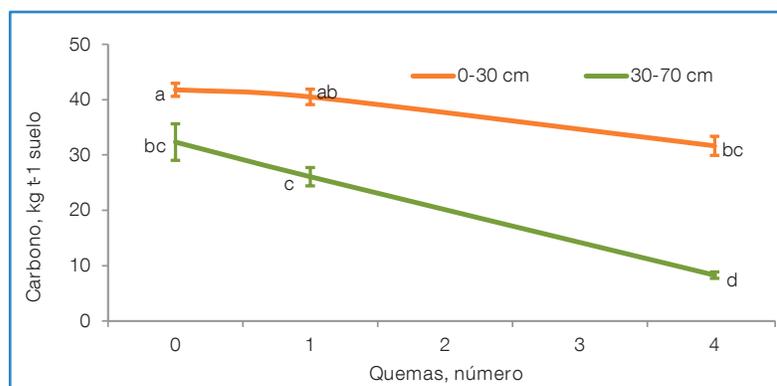
Profundidad, cm	kg C t ⁻¹ suelo		
	Quemas		
	0	1	4
0 – 10	44,3±1,5 ^{ab}	45,5±2,2 ^a	44,2±0,1 ^{abcd}
10 – 20	43,5±1,4 ^{abc}	41,6±1,6 ^{abcd}	32,0±3,6 ^{efg}
20 – 30	37,1±3,3 ^{abcde}		21,4±2,5 ^{gh}
30 – 50	32,0±3,1 ^{bcdef}	34,0±0,9 ^{abcdef}	10,4±1,0 ^{hi}
50 – 70	30,8±3,9 ^{defg}	28,1±0,8 ^{efg}	7,1±0,1 ⁱ
		22,6±2,4 ^g	

Valores promedio ± 1 error estándar (EE) con letra diferente difieren al nivel $P < 0,05$

0, 1, 4: veces que se ha aplicado la quema

La cantidad de carbono por unidad de suelo para el perfil completo (0-70 cm), está influenciada y determinada por la quema, ya que los valores fueron mayores ($P < 0,0001$) cuando no se quemó (T0: 36,4±1,6 kg t⁻¹ de suelo) o cuando solo se realizó una quema (T1: 32,4±1,9 kg t⁻¹ de suelo), con respecto a aquel determinado cuando se efectuaron cuatro quemas (T4: 18,4±2,9 kg t⁻¹ de suelo).

La reducción del carbono se evidencia y comprueba cuando se analiza e interpreta el perfil de acuerdo con respecto a la profundidad sugerida y recomendada por el IPCC (0 – 30 cm); así como en la sección más profunda del perfil evaluado, cuando se comparan los valores del tratamiento con una quema (T1) o sin quema (T0) con aquel que tiene cuatro quemas (T4, Figura 2).



Valores promedio ± 1 EE con letra diferente difieren al nivel $P < 0,05$

Figura 2. Efecto de la quema en caña de azúcar en el contenido de carbono por unidad de suelo según profundidad. Turrialba, Costa Rica. 2019.

3.3. Cambio en el contenido del carbono del suelo

Se observó el efecto directo de la quema en el contenido de carbono orgánico por unidad de suelo. La reducción anual promedio del COS fue mayor de los 30 a los 70 cm de profundidad con respecto al observado entre 0 y 30 cm de profundidad, independientemente del número de quemaduras realizadas al cultivo (Cuadro 2). En los primeros 30 cm de profundidad parece existir tendencia a incrementarse la reducción de carbono con respecto a las veces que se realiza la quema (Cuadro 2). El dato reportado es la diferencia entre T1 o T4 con respecto a T0, dividido entre el número de veces que se ha ejecutado la quema.

Cuadro 2. Efecto de la quema previo a la cosecha de la caña de azúcar en el contenido de carbono por unidad de suelo. Turrialba, Costa Rica. 2019.

Número de quemaduras	kg C t ⁻¹ suelo año ⁻¹	
	Profundidad, cm	
	0-30	30-70
1	-1,2±1,0	-6,1±4,9
4	-2,5±0,6	-6,0±0,9

Valores promedio ± 1 EE

La disminución del carbono en el suelo como resultado de la quema reiterada y continua de biomasa es importante y debe ser corroborada con evaluaciones aplicadas en un periodo más prolongado de tiempo, para determinar y juzgar con mayor certeza si realmente la reducción se debe o no a este factor.

El contenido de carbono orgánico del suelo fue afectado negativamente y disminuido por la práctica de quemar la plantación previa cosecha de la caña. Esto es coincidente con lo reportado por varios investigadores en países tales como Brasil (Galdos *et al.* 2009), USA (Selim *et al.* 2016) y Australia (Robertson y Thorburn 2007). Ello en buena parte, puede ser explicado por la reducción del material vegetal incorporado al suelo como consecuencia de la quema y combustión parcial de la biomasa, como lo demostraron Sandhu *et al.* (2013) en las determinaciones realizadas en los USA y Costa Rica.

La biomasa orgánica que se produce durante el ciclo vegetativo de crecimiento de las plantas de caña y particularmente durante la cosecha de la plantación, son una fuente importante de suministro de carbono en el suelo, por lo que su eliminación o reducción por causa de la práctica de la quema afecta negativamente su incorporación al suelo y con ello, las reservas del carbono del mismo; así como también intrínsecamente el equilibrio de gases con efecto invernadero (Tenelli *et al.* 2019). En este sentido, varias investigaciones han demostrado mayor emisión (entre 7,4 y 61,5%) de óxido nitroso (N₂O) en áreas quemadas con respecto a aquellas no quemadas (Chalco *et al.* 2017).

Se debe considerar adicionalmente el efecto que tiene la cobertura vegetal del suelo en la regulación de su temperatura y, en consecuencia, en la actividad microbiana. Al incrementarse la cobertura vegetal del suelo por la presencia de los residuos del cultivo remanentes luego de efectuada la cosecha de la caña de azúcar cuando no se quema, se induce la reducción de la temperatura (Sandhu *et al.* 2013), lo cual tiene efecto detrimental en la actividad microbiana (Lal 2004) que favorece el almacenamiento del carbono en el suelo. Lo contrario sucede cuando se quema. Esto también contribuiría a explicar por qué el T4 mostró los valores más bajos de COS (Cuadro 1).

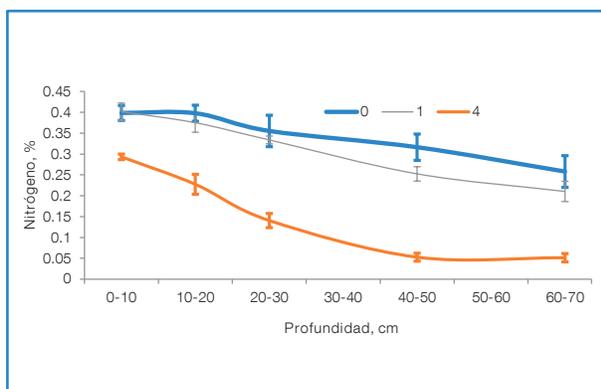
Un aspecto interesante observado en esta investigación fue que las mayores diferencias en el contenido de COS entre ambos manejos (quema vs no quema, Cuadro 2), ocurren a profundidades por debajo de la zona típica de determinación del carbono en el suelo, pues fueron notorias las variaciones a partir de los 30 cm de profundidad (Figura 2). Esto es congruente con lo reportado por Selim *et al.* (2016), quienes señalaron la importancia de determinar el COS a mayores profundidades, lo cual, para el caso particular de la caña de azúcar, es muy válido y recomendable virtud de la excepcional capacidad de exploración de su sistema radical (Chaves 1999, 2018a, 2019c).

Sin embargo, hay que considerar también el efecto provocado por la renovación del cultivo, lo cual se practica en Costa Rica por lo general cada 5-6 años en ciclos vegetativos de 12 meses (Chaves 2019c) y que presumiblemente debido a las labores implicadas en la preparación del suelo, provocan y favorecen que se pierda parte del carbono almacenado en el suelo por causa de la oxidación y mineralización a que es sometida (Chaves 1999, 2017).

Diferentes trabajos de investigación muestran este efecto, ya que la ruptura del suelo por la maquinaria agrícola hace posible la rápida descomposición del carbono protegido en los agregados del suelo, donde se incrementa la disponibilidad del oxígeno y la temperatura, lo cual mejora el ambiente para favorecer la actividad de los microorganismos (Chaves 1999; Galdós *et al.* 2009; Six *et al.* 2002; La Scala *et al.* 2006). Esta condición sumada a la reducción de la incorporación de residuos vegetales del cultivo por efecto de la quema, contribuyen también a disminuir significativamente los niveles de COS, tal y como se demostró en la presente investigación en el Tratamiento T4. No puede tampoco omitirse ni dejarse de considerar la significativa variabilidad natural que el nitrógeno muestra en el suelo, virtud de su dinámica y movilidad, lo que sugiere mucha prudencia en su interpretación (Chaves 2009, 2017).

3.4. Concentración y distribución de nitrógeno en el suelo

Se determinaron diferencias importantes ($P < 0,0016$) en la concentración del nitrógeno contenido en el suelo. Los valores fueron similares ($P > 0,05$) para las condiciones de no quema (T0) y cuando se realizó uno solo de estos eventos (T1) luego de la siembra (Figura 3). Cuando se quemó en repetidas ocasiones (T4) los valores de nitrógeno fueron notablemente inferiores.



Valores promedio \pm 1 EE

0, 1, 4: veces que se ha aplicado la quema

Figura 3. Distribución del nitrógeno en el perfil del suelo con o sin quema en un cultivo comercial de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

El contenido de nitrógeno presente en el perfil del suelo muestra claramente como su concentración es menor (Figura 3) cuando se ha realizado reiteradamente la práctica de la quema, lo cual compromete el crecimiento y posterior rendimiento del cultivo, con el consiguiente efecto en la cantidad de biomasa que al final del ciclo de cultivo será incorporada al suelo (Selim *et al.* 2016; Chaves 2020b), debido a que el nitrógeno ha demostrado ser un importante insumo que contribuye positiva y de manera determinante al incremento y mejoramiento de la productividad agroindustrial de la caña de azúcar (Chaves 1999, 2017, 2019c; Rasche *et al.* 2014).

La menor cantidad de nitrógeno en el suelo se explica por la pérdida del nutrimento por volatilización acontecida durante la quema, siendo la pérdida cercana a la totalidad del N contenido en la biomasa quemada, tal y como lo determinaron Hernández y López (2002).

3.5. Relación Carbono/Nitrógeno

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) del suelo varió significativamente ($P < 0,0001$) con respecto al número de veces en que ocurrió la quema previa a la cosecha de la plantación. Los valores fueron similares en el tratamiento sin quema (T0) y en aquel donde se quemó solamente una vez (T1, Cuadro 3). Sin embargo, esos valores son inferiores ($P < 0,05$) al que se determinó cuando la quema ocurrió cuatro veces (T4) después de la siembra.

Lo anterior puede ser visto desde una mejor perspectiva con la distribución de esta relación en el perfil del suelo (Figura 4). Los valores fueron similares en T0 y T1; sin embargo, mayores valores con significancia estadística (Cuadro 3) y estables de la relación, se detectaron en T4.

Cuadro 3. Relación Carbono/Nitrógeno (C/N) con o sin la práctica de la quema en un cultivo de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

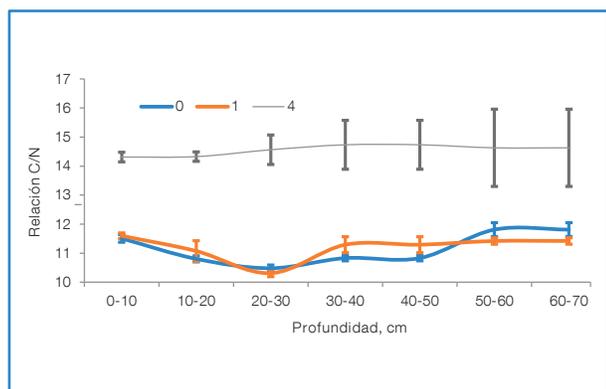
Quemas	Relación C/N
0	11,1±0,2 ^b
1	11,2±0,2 ^b
4	14,6±0,2 ^a

Valores promedio ± 1 EE

Promedios con diferente letra difieren al nivel $P < 0,05$

Los resultados evidencian que existe un incremento importante en la relación y proporcionalidad de estos nutrimentos en T4, inducida posiblemente por la pérdida de nitrógeno volatilizado durante la combustión del material vegetal más rápidamente degradable, y al consecuente incremento del material fibroso remanente para descomposición posterior. Ello se refleja en el aumento del valor de la relación. Cabe señalar, que la misma se mantiene en valores muy deseables desde el punto de vista de velocidad de descomposición (Chaves, 1999, 2017).

Sin embargo, hay que tener presente que debido a la naturaleza de ese proceso, un año sin quema no ofrece datos concluyentes para lograr una comparación fehaciente y consistente del efecto de esta práctica con respecto a la no ejecución de la misma. Por este motivo, estos datos deben ser tomados con la debida reserva y precaución.



Valores promedio ± 1 EE

0, 1, 4: veces que se ha aplicado la quema

Figura 4. Relación Carbono/Nitrógeno en el perfil del suelo, con o sin quema en un cultivo comercial de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

En general y para los datos de todos los tratamientos, se determinó correlación ($P < 0,0001$) entre el contenido de C y el de N, ambos expresados en porcentaje, observándose que, a mayor contenido de carbono, mayor es la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Figura 5).

El análisis individual por tratamiento mostró que el menor ajuste ($r^2 = 0,83$) se determinó en T0, mientras que T1 y T4 mostraron mejores ajustes ($r^2 = 0,94$ y $0,98$, respectivamente).

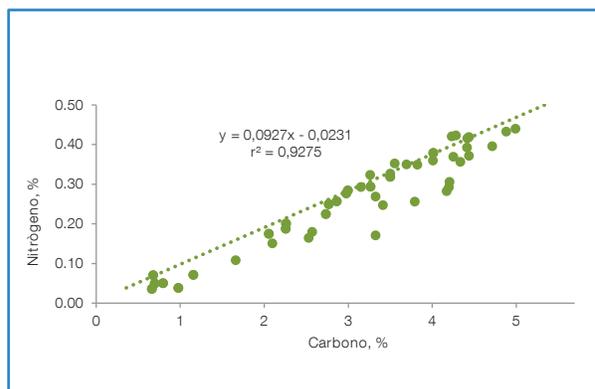
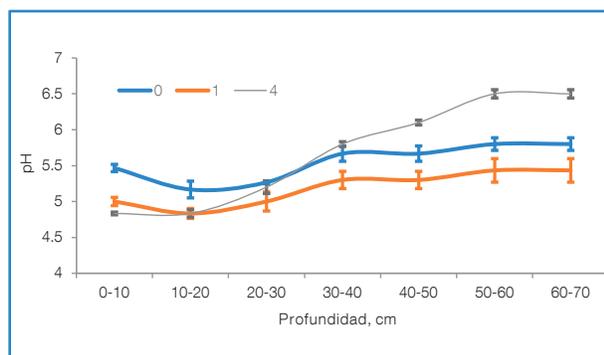


Figura 5. Relación entre el Carbono y Nitrógeno del suelo, con o sin quema en un cultivo comercial de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

3.6. Acidez del suelo

La acidez del suelo (pH) mostró valores similares entre los tratamientos presentados, un rango entre 4,7 y 6,3 unidades para una amplitud de 1,6 unidades (Figura 6), con tendencia a incrementar los valores con la profundidad de muestreo, siendo notorio el paralelismo que marcan la no quema (T0) y una quema (T1) a través de todo el perfil del suelo. El pH del T4 incrementó sus valores con la profundidad.



Valores promedio \pm 1 EE

0, 1, 4: veces que se ha aplicado la quema

Figura 6. pH en el perfil del suelo con o sin quema en un cultivo comercial de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

Estos valores muestran que conforme se incrementa la cantidad de veces que se quema la plantación, muy probablemente el calcio, magnesio y potasio que quedan remanentes en las cenizas producto de la combustión, son parcialmente lixiviados por las aguas de lluvia y llevados a capas más profundas del suelo, lo cual se manifiesta en mayores valores del pH como el observado en T4, lo que viene determinado por la textura Franco Arenosa del suelo (Cuadro 4) y el nivel de precipitación del lugar.

También hay que recordar que otras características edáficas del suelo como es su grado de acidez (pH), tienen relación directa con el COS. En este sentido, las determinaciones demostraron que los menores valores de pH se presentaron donde se observaron los mayores contenidos de COS en el suelo (Figs. 1 y 6), aspecto coincidente con los reportados en la literatura científica (Kemmitt *et al.* 2005, Kirk *et al.* 2010), donde a menor pH, mayor contenido de carbono. Sin embargo, no se determinó correlación significativa entre el pH y el contenido del COS.

Los suelos ácidos comparados con los suelos neutros o cercanos a esta condición favorecen la presencia y la actividad microbial en particular de los hongos, los cuales tienen efecto estabilizador en los

agregados y con ello, se estimula la acumulación de carbono en el perfil del suelo (Karlsson 2013).

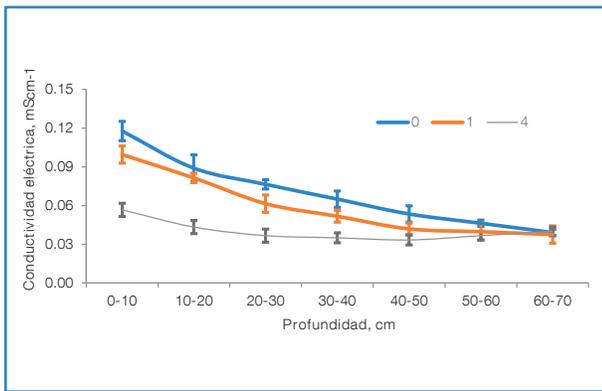
Al reducirse la cantidad y calidad de los residuos vegetales incorporados al suelo por la quema de la caña realizada previo a la cosecha, también se reduce la cantidad de H^+ que se libera al medio como parte de la mineralización de la MO. Uno de los productos finales de la descomposición de la materia orgánica son los ácidos orgánicos, algunos de los cuales son ácidos fuertes que disminuyen el índice de pH.

Además, la acumulación de materia orgánica en el medio puede reducir el pH ya que contiene grupos funcionales ácidos que pueden disociar el H^+ . A esta condición hay que adicionarle el efecto de la lluvia, la cual provoca el lavado de bases como Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y con ello la reducción del pH (Karlsson 2013).

3.7. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es una medida indirecta de la cantidad de sales contenidas y disueltas en la solución del suelo, favoreciendo o no la presencia de condiciones que contribuyen con el crecimiento de las raíces y potencian el buen desarrollo de las plantas. Las sales medidas pueden ser de origen catiónico (sodio, calcio, magnesio, etc.) o aniónico (sulfatos, boratos, nitratos, carbonatos, etc.). En términos generales, valores de CE inferiores a $0,35 \text{ micro Siemens (mS) cm}^{-1}$ se relacionan con condiciones que estimulan el buen desarrollo del sistema radical y por ende del cultivo.

Los valores promedio determinados en Turrialba, una región muy lluviosa con más de 2.400 mm anuales, fueron inferiores a $0,15 \text{ mS cm}^{-1}$ y relativamente similares entre los tratamientos evaluados (Figura 7), lo que denota poca interferencia de las sales en el desarrollo de las plantas de caña.



Valores promedio ± 1 EE

0, 1, 4: veces que se ha aplicado la quema

Figura 7. Conductividad eléctrica en el perfil del suelo con o sin quema en un cultivo comercial de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

La distribución de la CE en el perfil del suelo evidencia que conforme la profundidad es mayor, disminuye la concentración proporcional de sales, posiblemente como resultado de su absorción por las raíces de la caña, las que al localizarse mayoritariamente en las capas superiores reducen la conducción, presencia y disponibilidad de las mismas en los horizontes más profundos. La mayor concentración de sales en las capas superiores es el resultado de la mineralización que ocurre en esa sección del perfil del suelo, con la subsecuente liberación de nutrimentos catiónicos y aniónicos al medio, los cuales en buena medida se encuentran contenidos en forma de sales solubles. La evapotranspiración podría eventualmente favorecer también este comportamiento.

Se determinó correlación ($P < 0,0001$) entre el porcentaje de carbono del suelo con respecto a la conductividad eléctrica para T0 y T1, no así para T4 (Figura 8). La relación es positiva indicando que, a mayor CE, mayor es la cantidad de COS. Ello posiblemente señala que estas sales provienen de la descomposición de la materia orgánica, cuyo contenido es mayor en T0 y T1 tal y como se comentó anteriormente (Figura 1).

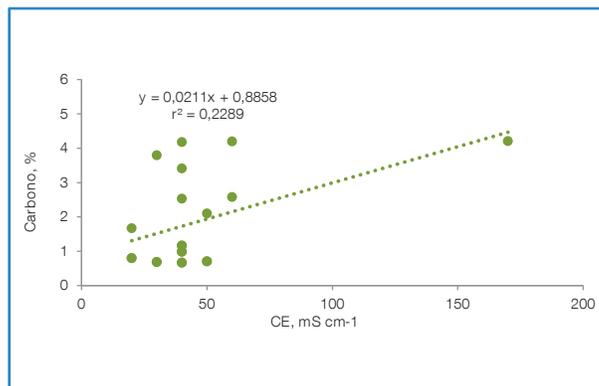
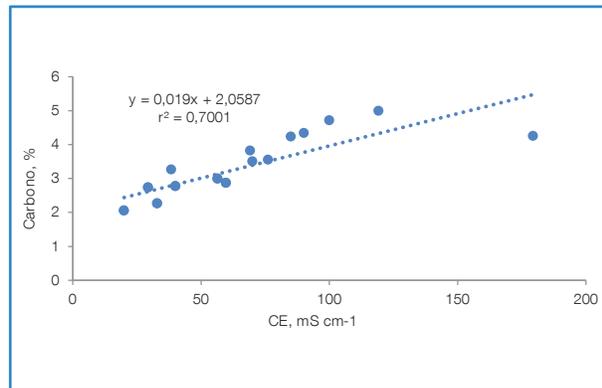
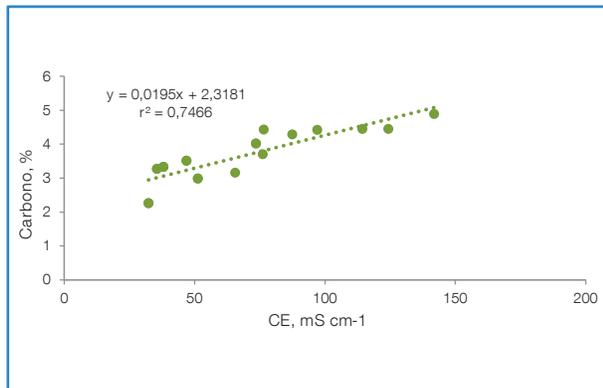


Figura 8. Relación entre el COS y la conductividad eléctrica en el perfil del suelo con o sin quema en un cultivo comercial de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

El menor contenido de materia orgánica en T4 (Figura 1) aunado a la mayor relación C/N (Figura 4) se refleja en la menor CE (Figura 7) y, en consecuencia, es claramente verificable en la baja relación con el carbono (Figura 8).

3.8. Textura y densidad aparente

Los contenidos de arcilla, limo y arena fueron muy similares a lo profundo del perfil para los tratamientos T0 y T1 (Cuadro 4), difiriendo T4 en los valores de arcilla y arena, los cuales fueron aproximadamente 20% superior e inferior, respectivamente, a los determinados en los otros tratamientos, aunque en todos los casos el suelo se clasifica como de textura franco

arenosa y por tanto muy favorable para efectos de infiltración, drenaje y evacuación de aguas, intercambio gaseoso, desarrollo radical, laboreo mecánico, potencial de compactación, entre otras propiedades.

A pesar de que el contenido de arcilla ha sido positivamente correlacionado con el contenido de carbono del suelo, esta relación no se observó en el T4 donde se determinaron los valores más altos de arcilla (Cuadro 4), pero los contenidos de COS fueron inferiores a los de T0 y T1 (Cuadro 1, Figura 2), lo cual es de suponer se debe al efecto que ejerce la quema en el contenido de carbono. Otros efectos pedogenéticos podrían haber acontecido en el lugar, pues por antecedente es una región con eventos importantes en el tiempo, sobre todo volcánicos y de inundación.

Cuadro 4. Contenido de arcilla (Arc.), limo (Lm.), arena (Ar.) y densidad aparente del suelo según profundidad, con y sin la práctica de la quema en un cultivo de caña de azúcar. Turrialba, Costa Rica. 2019.

Profundidad, cm	Arc./Lm./Ar. %		
	0	1	4
0-10	28/24/48	30/27/43	48/23/29
10-20	29/22/50	29/28/43	48/24/28
20-30	26/26/48	28/28/44	52/21/27
30-50	23/31/46	25/30/44	48/26/26
50-70	22/25/52	26/30/44	38/35/27
	Densidad		4
	Aparente, g cm ⁻³		
	0	1	
0-10	0,79±0,05	0,81±0,03	0,87±0,06
10-20	0,97±0,02	0,97±0,10	0,93±0,06
20-30	0,93±0,05	0,91±0,09	0,93±0,05
30-50	0,86±0,04	0,91±0,02	0,98±0,02
50-70	0,98±0,04	0,93±0,06	1,01±0,03

Valores de densidad aparente ± 1 EE

0, 1, y 4 se refieren al número de quemas

Lo anterior se puede observar en la correlación ($P < 0,0001$) existente entre los porcentajes de carbono y arcilla del suelo en los tratamientos T0 y T1 (Figura 9), donde se muestra que, a mayor contenido de arcilla, mayores son los valores de carbono del suelo. Sin embargo, ello no se manifiesta en T4 donde no hubo correlación entre las variables antes anotadas. Es conocido el efecto de retención de las arcillas (carga negativa) sobre los grupos húmicos del suelo, favorecido también por su mayor superficie de exposición.

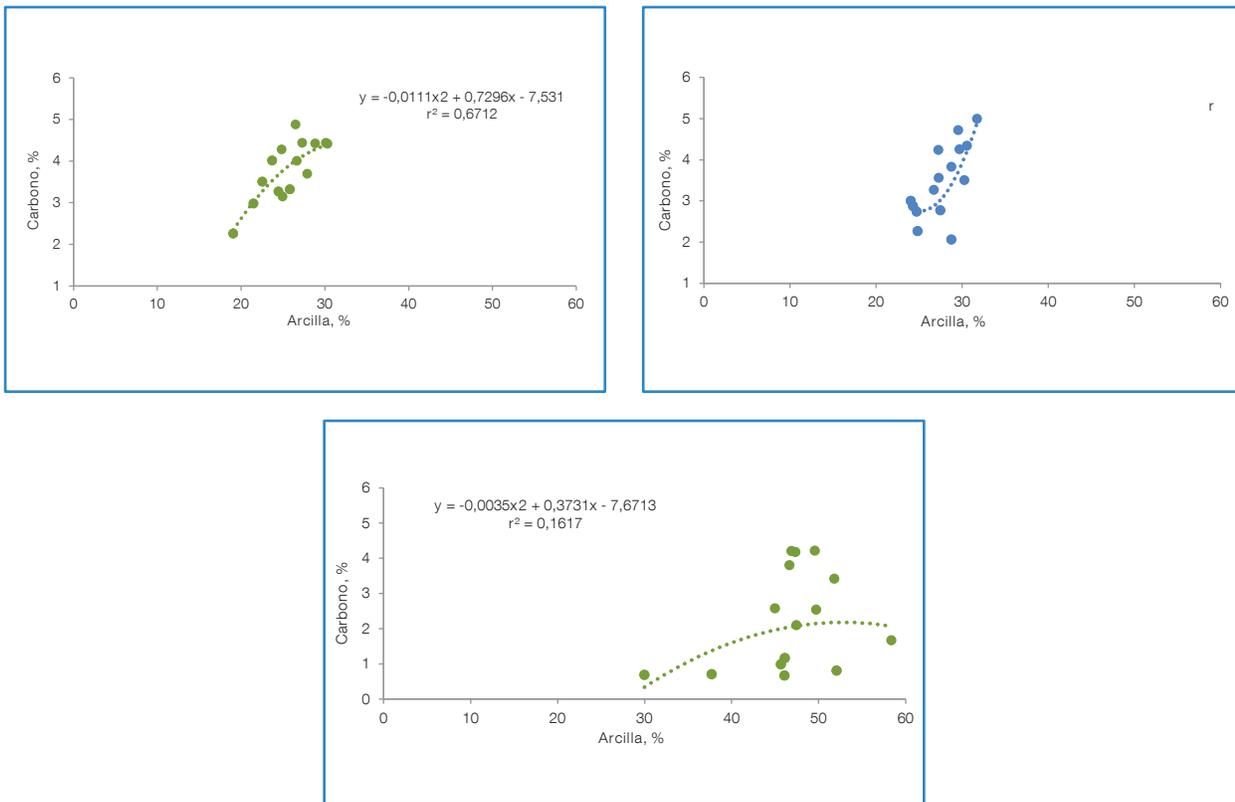


Figura 9. Relación entre el porcentaje de carbono y de arcilla, en el perfil del suelo de un cultivo comercial de caña de azúcar con o sin quema. Turrialba, Costa Rica. 2019.

También se debe considerar que la textura del suelo influye en la protección física de la materia orgánica (MO), ya que las arcillas, limitan el acceso de los microorganismos al material orgánico que se encuentra encapsulado en poros de tamaño muy pequeño. Es por ello que usualmente los suelos que contienen más arcilla también presentan mayores niveles de MO. El nivel freático puede en periodos de alta precipitación y con texturas finas, influir al respecto al generar condiciones anaeróbicas.

En esta investigación a pesar de que el lote donde se ubicaron las parcelas del tratamiento T4 mostró tener mayores contenidos de arcilla (Cuadro 4), comparado con los determinados en T0 y T1, los niveles de carbono orgánico fueron inferiores (Cuadro 1). Esto pone de manifiesto el claro efecto de la quema, que al reducir la cantidad de material vegetal que se incorpora al suelo, también reduce en el tiempo la fracción de MO que es encapsulada y protegida de la acción de los microorganismos (mineralización). Ello se manifiesta en valores bajos de COS.

En cuanto a la Densidad Aparente (DA) del suelo, los valores fueron similares en todos los tratamientos, pero con tendencia a ser mayores en T4, influido por el hecho de tener más arcilla (Cuadro 4) y menos COS (Cuadro 1). En todo caso y con excepción del T4 para la capa más profunda, los valores fueron inferiores a $1,0 \text{ g cm}^{-3}$ lo que se considera óptimo pues se aleja de condiciones físicas inconvenientes que afectan el normal desarrollo de las plantas por reducción del espacio poroso. Resulta destacable mencionar que la DA no se incrementó con la profundidad del suelo en T0 y T1, lo que denota un buen balance fraccional de partículas y ausencia de condiciones de compactación, anaerobiosis y adensamiento del suelo (Chaves, 2017). Esta tendencia si se observó en T4.

De acuerdo con la condición y sistema de manejo convencional de la plantación de caña de azúcar muestreada, es claro el efecto detrimental que provoca la quema en el contenido del carbono orgánico presente en el perfil del suelo. La reducción ocurre a partir de los 10 cm de

profundidad y la disminución del carbono se manifestó con mayor intensidad luego de acontecer sucesivas quemas posteriores a la renovación de la plantación.

En cuanto a la disposición y distribución del carbono en el perfil del suelo, hubo mayor concentración en la sección superior del mismo (0-10 cm), con un patrón descendente conforme aumentó la profundidad.

La práctica agrícola de quemar las plantaciones comerciales de caña de azúcar para su cosecha, parece influenciar de manera determinante la relación C/N del suelo, ya que los valores se incrementan con relación al número de quemas efectuadas, independientemente de la profundidad de suelo explorada. El nitrógeno se ve reducido por la quema e incrementando con ello el valor de la relación C/N, cuyos valores fueron sin embargo aceptables en todos los tratamientos, ubicándose en niveles recomendables. El pH no mostró ser influenciado de manera significativa por la quema, ya que se determinaron valores similares en los tratamientos evaluados. Lo mismo se observó en el caso de la conductividad eléctrica.

Es necesario continuar con los muestreos sistemáticos y la valoración de las mismas variables en periodos más prolongados de tiempo, en los mismos puntos empleados en la presente investigación, para corroborar o determinar posibles nuevas tendencias en la cantidad y ubicación del carbono presente en el perfil del suelo.

Se hace necesario explorar y comprobar la posible variación que puede inducir la naturaleza genética y las características fenotípicas de la variedad de caña sembrada, en el nivel de productividad agroindustrial de la finca y el contenido de carbono orgánico presente en el suelo, pues ello está directamente ligado a la cantidad de biomasa producida e incorporada al mismo antes (por despaje de la planta) o después de la cosecha (Chaves 2018ab, 2019bc).

Factores como orden y suborden taxonómico del suelo también sería interesante incluirlos como variables de estudio, para ir determinando de manera concluyente la influencia de los mismos y su relación con la cantidad de carbono presente.

Sería de gran valor incluir en futuras investigaciones la utilización de los isótopos de carbono ya que contribuiría a clarificar no solo la proporción del carbono del suelo que es producto de la incorporación de material vegetal de la caña, sino también la presencia y remanencia del carbono proveniente de la cobertura vegetal original.

Finalmente, la evaluación de la fracción de la materia orgánica rápidamente descomponible como la particulada (conocida como POM por sus siglas en inglés), y que se ha utilizado como indicador para monitorear la calidad del suelo en diversas investigaciones, es importante de valorar, ya que contribuiría a identificar los cambios que se están produciendo en la MO en el corto plazo, como resultado del manejo agronómico del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló bajo el proyecto “Cuantificación y determinación de carbono orgánico del suelo bajo diferentes actividades agropecuarias de Costa Rica”, que forma parte de la Cuarta Comunicación Nacional y el Segundo Informe Bienal de Actualización de Costa Rica ante la CMNUCC – 00098756 y que fue implementado bajo la tutela del Convenio entre el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), con el financiamiento parcial del Fondo Global del

Ambiente (GEF por sus siglas en inglés) Costa Rica. También se agradece el apoyo financiero de FUNDECOOPERACION, lo cual hizo posible el desarrollo del estudio. Asimismo, se agradece a la Ing. Agr. Kathia Carvajal del IMN, como al personal profesional de LAICA (DIECA) en especial al Ing. Agr. Gilberto Calderón A., por todo el apoyo recibido durante las labores de muestreo de campo.

Un especial agradecimiento al Ing. Agr. Rolando Picado por permitir realizar los muestreos en la finca “La Isabel”, ubicada en Turrialba.

LITERATURA CITADA

- Chalco, J; Valeiro, A; Posse, G; Acreche, M. 2017. To burn or not to burn: The question of straw burning and nitrogen fertilization effect on nitrous oxide emissions in sugarcane. *Science of the Total Environment* 587-588:399-406.
- Chaves Solera, M. 2020a. Implicaciones del clima en la calidad de la materia prima caña de azúcar. *Boletín Agroclimático (Costa Rica)* 2(1):5-12.
- Chaves Solera, M. 2020b. Clima, quema y cosecha de la caña de azúcar en Costa Rica. *Boletín Agroclimático (Costa Rica)* 2(3):5-11.
- Chaves Solera, M. 2019a. Entornos y condiciones edafoclimáticas potenciales para la producción de caña de azúcar orgánica en Costa Rica. *In Seminario Internacional: Técnicas y normativas para producción, elaboración, certificación y comercialización de azúcar orgánica.* (1, 2019, Guanacaste, Costa Rica). Memoria Digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). 114 p.
- Chaves Solera, M. 2019b. Clima, cosecha de caña y fabricación de azúcar en Costa Rica. *Boletín Agroclimático (Costa Rica)* 1(19):5-10.
- Chaves Solera, M. 2019c. Clima y ciclo vegetativo de la caña de azúcar. *Boletín Agroclimático (Costa Rica)* 1(7):5-6.
- Chaves Solera, M. 2018a. Genética aplicada a la mejora de las plantaciones comerciales de caña de azúcar. *In Congreso Tecnológico DIECA* (7, 2018, San Carlos, Alajuela, Costa Rica). Memoria digital. San José, Costa Rica. Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA). 43 p.
- Chaves Solera, M. 2018b. Variedades de caña de azúcar sembradas comercialmente en la Zona Atlántica (Turrialba-Juan Viñas), Costa Rica, durante el periodo 1986-2016 (30 años). San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, diciembre. 27 p.
- Chaves Solera, M. 2017. Suelos, nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. *In Seminario internacional producción y optimización de la sacarosa en el proceso agroindustrial* (1, 2017, Puntarenas, Costa Rica). Memoria digital. San José, Costa Rica, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). 38 p.
- Chaves Solera, M; Bermúdez Loria A. 2006a. Motivos y razones para quemar las plantaciones de caña de azúcar en Costa Rica. *Revista PROCAÑA, Asociación de Productores de Caña de Azúcar de El Salvador.* 13:34-36.
- Chaves Solera, M; Bermúdez Loria, A. 2006b. Consideraciones para la quema tecnificada de una plantación comercial de caña de azúcar en Costa Rica. *In Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Centroamérica (ATACA), Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI),* (16, 2006, Heredia, Costa Rica). Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI). p. 254-260.
- Chaves Solera, M. 1999. El nitrógeno, fósforo y potasio en la caña de azúcar. San José, Costa Rica. LAICA-DIECA, setiembre. 130 p.
- Department of Environment and Heritage Protection. 2016. Farming in Reef Catchments. The method for soil sampling and analysis for sugarcane properties regulated under the Environmental Protection Act, 1994. 15p.
- DiRienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. 2018. InfoStat versión 2018, Grupo InfoStat, FCA (en línea, programa informático). Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado. 14. ene. 2020. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Franzluebbers, A. 2010. Achieving soil organic carbon Sequestration with conservation agricultural systems in the Southeastern United States. *Soil Science Society of America Journal* 74(2):347-357.
- Galdos, M; Cerri, C; Cerri, C. 2009. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma* 153(3-4):347-352.
- Guo, L; Gifford, R. 2002. Soil carbon stocks and land use change. *Global Change Biology* 8:345-360.
- Hernández, I; López, D. 2002. Pérdida de nutrientes por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Revista de Biología Tropical* 50(3-4):1013-1019.

- Holdridge, L. 2000. Ecología basada en zonas de vida, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. 96 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Jobbagy, E; Jackson, R. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 10(2):423-436.
- Karlsson, T. 2013. Soil carbon, pH and yield development in a long-term humus balance trial. Master's Thesis in Soil Science. Agriculture Programme – Soil and Plant Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences. 48 p.
- Kemmitt, S; Wright, D; Goulding, K; Jones, D. 2005. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 38(5):898-911.
- Kirk, G; Bellamy, P; Murray, R. 2010. Changes in soil pH across England and Wales in response to decreased acid deposition. *Global Change Biology* 16(11):3111-3119.
- La Scala, N; Bolonhezi, D; Pereira, G. 2006. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 91:244-248.
- La Scala, N; De Figueiredo, E; Panosso, A. 2012. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. *Brazilian Journal of Biology* 72(3):775-785.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123(1-2):1-22.
- Lal, R. 2008. Soil carbon stocks under present and future climate with specific reference to European ecoregions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81:113-127.
- Livestock Environmental Assessment and Performance. 2018. Guidelines for measuring soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems. FAO, Rome. 144 p.
- Luo, Z; Wang, E; Sun, O. 2010. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: a review and synthesis. *Geoderma* 155:211-223.
- Rasche, J; Schaefer, G; Drescher, G; Muller, E, Cabral, C; Gómez, V. 2014. Fertilización nitrogenada y su efecto en la productividad y el ataque del taladrador de la caña en dos variedades de caña de azúcar. *Investigación Agraria* 16(1):1-10.
- Robertson, A; Thorburn, P. 2007. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. *Australian Journal of Soil Research* 45(1):13-23.
- Rumpel, C; Koegel-Knabner, I. 2011. Deep soil organic matter-a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil* 338(1-2):143-158.
- Rumpel, C; Kogel-Knabner, I; Bruhn, F. 2002. Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogenesis. *Organic Geochemistry* 33(10):1131-1142.
- Sandhu, H; Gilbert, R; Kingston, G; Subiros, J; Morgan, K; Rice, R; Baucum, L; Shine Jr, J; Davis, L. 2013. Effects of sugarcane harvest method on microclimate in Florida and Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology* 177:101-109.
- Schöning, I; Kögel-Knabner, I. 2006. Chemical composition of young and old carbon pools throughout Cambisol and Luvisol profiles under forests. *Soil Biology and Biochemistry* 38(8):2411-2424.
- Selim, H; Newman, A; Zhang, L; Arceneaux, A; Tubaña, B; Gaston, L. 2016. Distributions of organic carbon and related parameters in a Louisiana sugarcane soil. *Soil and Tillage Research* 155:401-411.
- Six, J; Feller, C; Denef, K; Ogle, S; De Moraes, J; Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755-775.
- Skjemstad, J; Taylor, J; Janik, L; Marvanek, S. 1999. Soil organic carbon dynamics under long-term sugarcane monoculture. *Australian Journal of Soil Research* 37(1):151-164.

Sornpoon, W; Bonnet, S; Garivait, S. 2013. Effect of open burning on soil carbon stock in sugarcane plantation in Thailand. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering* 7(11):775-779.

Tenelli, S; de Oliveira, R; Carneiro, L; Nunes, J. 2019. Can reduced tillage sustain sugarcane yield and soil carbon if straw is removed? *BioEnergy Research* 12:764-777.

West, T; Post, W. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66(6):1930-1946.

EFFECTO DE ROTACIÓN DE CEBOLLA Y ZANAHORIA, SOBRE LA DINÁMICA POBLACIONAL DEL NEMATODO *GLOBODERA* SPP.

Ricardo Piedra Naranjo¹

RESUMEN

Efecto de rotación de cebolla y zanahoria, sobre la dinámica poblacional del nematodo *Globodera* spp. El estudio se ubicó en la Estación Experimental Dr. Carlos Durán ubicada en Tierra Blanca de Cartago, en las coordenadas: latitud: N 09° 55' 08" y Longitud: O 83° 52' 43". El objetivo de la investigación fue evaluar la dinámica poblacional del nematodo en los dos cultivos comparado con un testigo sin siembra y en descanso. El área del experimento se clasifica como subtropical húmeda, una altura de 2335 msnm, el suelo es andisol de origen volcánico, posee una temperatura promedio de 17°C, precipitación promedio de 2600 mm anuales y pertenece al bosque muy húmedo montano. Las tres parcelas bajo estudio presentaron historial con la plaga *Globodera* spp. y con siembras sucesivas de papa. Para la obtención de los quistes del suelo, se extrajeron una muestra compuesta de 10 sub-muestras por cada parcela. Se realizaron cinco muestreos, el primer muestreo al inicio con el marcaje de las parcelas y siembra de Cebolla y Zanahoria y los cuatro siguientes, cada 45 días respectivamente. Para la extracción de los quistes, se utilizó el método de flotación de quistes mediante el Fenwick Modificado. Para el análisis de los datos, se utilizó una prueba de t de Student (Probabilidad 0,5%). Los resultados mostraron entre las parcelas sembradas con zanahoria y cebolla no hubo diferencias estadísticas entre sí; pero al comparar con el testigo absoluto, se observaron diferencias importantes en las variables: cantidad de larvas y huevos por quiste, total de larvas y huevos; así como larvas y huevos/g de suelo seco; siendo esta última la más importante en el análisis del experimento. Al inicio los datos indicaron una población larvas y huevos /g de suelo seco de 25,21 en cebolla, 29,98 en zanahoria y 44,81 en el testigo. Al finalizar los muestreos, cebolla obtuvo una reducción *Globodera* spp con un dato de 4,41, en zanahoria 8,32 y en el testigo se incrementó a 53,17. Los cultivos estuvieron por debajo del umbral de daño establecido, no así el testigo. También se demostró que el nematodo tiene un rango muy limitado de adaptación, cuando se le cambia de cultivo, en este caso zanahoria y cebolla, y esto hace que las poblaciones tiendan a reducir considerablemente.

Palabras clave: *Globodera* spp., rotación de cultivos, extracción de quistes, umbral de daño, larvas, huevos.

Keywords: *Globodera* spp, crop rotation, cyst extraction, damage threshold, larvae, eggs.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. rpiedra@inta.go.cr. Sede del Laboratorio de Fitoprotección del INTA, Sabana Sur, San José.

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el cultivo de papa es una actividad a la cual pequeños y medianos agricultores se han dedicado durante muchos años, tanto para consumo como para la agroindustria. En el año 2016, se utilizaron en el cultivo de papa en Costa Rica, un total de 97.979 toneladas, en un área sembrada de 3600 hectáreas. Las importaciones para el año 2016 no superaron el 3,12%. Por lo anterior, se observa que este cultivo tiene gran demanda en nuestro país, además de que prácticamente el país se autoabastece (CNP 2017). Es importante entonces, mantener este tubérculo comestible, lo mejor posible libre de plagas y enfermedades desde la semilla hasta la cosecha, para evitar grandes pérdidas de rendimiento y producción.

Según Franco (1986), la presencia del nematodo en cualquier región o país conlleva varias consecuencias tales como: reducción del rendimiento productivo en función de la población del nematodo, problemas comerciales entre países, tanto para papa comercial como para producción semilla certificada y registrada, diseminación a otras localidades de producción por falta de controles fitosanitarios debido al comercio de semilla entre fincas, lo cual favorece que la plaga se propague. La propagación del nematodo se origina debido a prácticas inadecuadas de manejo como: comercialización de semilla entre fincas, mal manejo de aguas, suelo y residuos de cosecha, lavado de los tubérculos, limpieza del equipo y finalmente, herramientas de trabajo. Por otro lado, los productores no toman medidas para evitar la diseminación en sus fincas, provocando entre otras consecuencias, que las casas comerciales promuevan el uso en grandes volúmenes de nematicidas químicos sin conocer su eficacia contra la plaga, lo cual genera una contaminación ambiental y un incremento de los costos de producción (Franco *et al.* 1993).

De acuerdo con Crozzoli (1994) las plagas agrícolas como *Globodera* spp. han tratado de ser controladas durante años mediante el uso de plaguicidas químicos provocando un fuerte impacto sobre los organismos benéficos presentes en el suelo y el ambiente. Dentro de las alternativas químicas están algunos Carbamatos y organofosforados, los primeros de mejor degradación y los

segundos con mayor tiempo para su descomposición en el suelo; por lo tanto, se recomienda aplicar un organofosforado antes de la siembra para obtener un mejor espacio de tiempo para su degradación. Hoy en día, se conocen algunas alternativas como el uso de hongos y bacterias nematófagos, otra alternativa para el manejo y control de los nematodos fitoparásitos, el uso de variedades tolerantes, la rotación de cultivos y el manejo adecuado de suelos. Lo anterior ayuda al manejo y convivencia con la plaga.

El nematodo produce una o dos generaciones, dependiendo de la duración del ciclo del cultivo de la papa. EL ciclo de vida del nematodo inicia o comienza con la presencia de los exudados radiculares del hospedero, que permiten la emergencia de los segundos estadios juveniles (JII) los cuales invaden las raíces y forman el sincitio (alteración de células). La adherencia de las hembras en las raíces permite su observación a simple vista como perlititas blancas que van cambiando de color blanco claro a marrón (Stone 1985 y Franco *et al.* 1993).

Una vez que la hembra muere, se convierte en un quiste de color marrón, conteniendo en su interior los huevos con estados larvales, (Mulder y Vanderwal 1997). Los quistes se desprenden de la raíz, quedando en el suelo, estos pueden ser viables por más de 20 años, un nuevo ciclo en el momento de que existan las condiciones para su desarrollo. El tamaño pequeño de los quistes facilita la diseminación del nematodo, ya que estos son fácilmente llevados de un lugar a otro con el suelo adherido a los tubérculos, la maquinaria e implementos agrícolas, además de, envases y por cualquier otro medio que pueda transportar suelo infestado (Hooker 1980 y Scurrah 1981).

Globodera spp. al hacer lesiones en las raíces, permite la entrada del hongo *Verticillium* spp, incrementa la marchitez bacteriana provocada por *Ralstonia solanacearum*. Aunque existen muchas solanáceas que pueden ser hospederos del nematodo, la papa, el tomate y la berenjena son los principales cultivos comerciales afectados por esta plaga. Tanto *G. rostochiensis* como *G. pallida* se encuentran como nematodos plagas presentes en Sudamérica y Europa. *Globodera pallida* se

encuentra en varios países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Venezuela, Panamá y México. (Franco 1986).

Respecto a las características del nematodo, es importante conocer en detalle aspectos como el biotipos o razas; esto ayuda a trabajar con clones o variedades de papa con tolerancia al nematodo. La susceptibilidad de variedades al nematodo se determina mediante el umbral de daño, por medio del conteo de huevos o larvas por gramo de suelo, e indica la pérdida o reducción en la producción de tubérculos de papa. (Franco 1986).

Las experiencias en el manejo integrado de cultivos (MIC) para el control de nematodos fitoparásitos, han demostrado una eficiente y clara posibilidad de que se puede producir conviviendo con la plaga, sin utilizar medidas drásticas que afecten al ser humano y al ambiente. Un ejemplo de estas prácticas es la sustitución del uso de químicos para su combate con variedades tolerantes, control biológico, rotación de cultivos y otras prácticas que han hecho del cultivo de papa una actividad sostenible, manteniendo la producción (FAO 2005). En general, las pérdidas de rendimiento causadas por estos fitoparásitos dependen del grado de asociación hospedante-nematodo, de la raza y densidad poblacional del nematodo, susceptibilidad del hospedante, calidad de la semilla, fertilidad del suelo, época de siembra y condiciones ambientales (Pumisacho y Sherwood 2002).

Según Cook y Rivoal (1998) los nematodos formadores de quistes con sus seis géneros y unas cien especies han mostrado una evolución en cuanto a la adaptación a climas subtropicales y tropicales tanto para *G. rostochiensis* y *G. pallida*. Esa tendencia en la adaptación hace que las dos especies (*pallida* y *rostochiensis*) tiendan a comportarse y tener una resistencia o susceptibilidad a diferentes genotipos de cultivos como la papa. Esa resistencia o susceptibilidad puede definirse con el estudio de los patotipos o razas a través de un programa de mejoramiento genético que incorpore el plan de manejo integrado.

La evidencia del uso continuo de un cultivar resistente a un patotipo predominante en una población, conduce a que, en pocos años,

individuos con poca virulencia y proporción, se incrementen fácilmente en este cultivar y, por consiguiente, originen una selección de genes de virulencia (Colé y Howard 1966; Drokpin 1988). Esto confirma que los individuos de una población no tienen genes comunes para virulencia y por lo tanto, es la consecuencia de una mezcla de patotipos en diferente proporción, donde uno de ellos es el que predomina en un tiempo determinado. Algunas poblaciones inglesas de *G. rostochiensis*, identificadas como Ro I, constituyen una excepción de lo mencionado anteriormente. En esta se demuestra con mucha facilidad la hipótesis de que hay una relación de genes de resistencia en el hospedante que se complementa con genes de virulencia en el nematodo (Howard 1965).

La rotación y el descanso, además de sembrar cultivos no hospedantes, hace que el nematodo del quiste tenga un rango muy limitado. Si las poblaciones son bajas, se pueden implementar rotaciones de cultivo por cuatro o siete años (Montessoro 1994). En terrenos donde se practica la agricultura intensiva, es importante la rotación de cultivos con leguminosas (haba), cereales (trigo, cebada y maíz, ulluco (*Ullucus tuberosus*), pastos y quinua, ya que reducen la población del nematodo en 30% y 40%, mientras que el chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis*) y la zanahoria entre 40% y 80%, porque ayudan a bajar las poblaciones, mejorando los rendimientos del cultivo de papa. (González y Franco 1997; Pumisascho y Sherwood, 2002).

Dentro del estudio de la rotación de cultivos, se sabe que lo que produce reducción de una plaga es el efecto alelopático y eso es común en algunas Brásicas, como es el caso de hojas de nabo (*Brassica campestris*). En especies de los géneros *Brassica* y *Sinapis* (Cruciferae) se han identificado compuestos alelopáticos como alil isotiocianato y β -fenetil isotiocianato (Choesin y Boerner 1991) y Carpentier *et al.* (1998) empleando diferentes solventes para la extracción de compuestos alelopáticos en *Brassica napus*, estos autores sugieren que el uso del metanol puede evitar el problema de la actividad de la enzima mirosinasa (que descompone compuestos como los glucosinolatos, comunes en la familia Brassicaceae) y reduce la extracción de compuestos indeseables; sin embargo, también sugieren que el metanol es un solvente tóxico.

En la mayoría de los bioensayos con compuestos alelopáticos, se prefiere hacer las evaluaciones con especies cultivadas sensibles. Macías *et al.* (2000) sugieren que el uso de semillas de cultivos comerciales permite generar modelos generales sobre los aleloquímicos, y en especial, en lo referente a efectos estimulantes. Esas semillas tienen además la ventaja de ser genéticamente más homogéneas que las semillas de malezas, germinar uniformemente y estar disponibles con facilidad.

La alternancia con algunas plantas favorece un efecto alelopático. Es decir; hay especies que liberan metabolitos secundarios que afectan el crecimiento y desarrollo de organismos vivos del suelo (Lampkin 1988). Así mismo, algunas plantas en determinadas condiciones liberan al ambiente compuestos biológicamente activos como alelotoxinas; las sustancias ejercen efectos inhibitorios

sobre el crecimiento y desarrollo de otras especies relativamente próximas. Una especie puede producir distintos aleloquímicos, que pueden interactuar y cuyos síntomas son determinados por el conjunto de sus efectos (Sampietro 2001). Es indudable que las estrategias e implementación de prácticas de manejo integrado, de esta plaga es de vital importancia para los productores y consumidores de este tubérculo (Brenes *et al.* 2002). Por lo tanto; se determinó evaluar el efecto de la rotación de los cultivos de cebolla (*Allium cepa*) y zanahoria (*Daucus carota*), y observar el comportamiento de la dinámica poblacional del nematodo *Globodera* spp. como parte de una práctica de manejo integrado del nematodo. También hacer la rotación con estos dos cultivos, se justifica; porque el nematodo no es fitoparásito de ninguno de estos cultivos y además estos cultivos son alternativas en estas localidades como producción y comercialización.

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la Estación Experimental Dr. Carlos Durán ubicada en Tierra Blanca de Cartago, en las coordenadas: latitud: N 09° 55' 08" y Longitud: O 83° 52' 43". El área del experimento se clasifica como subtropical húmeda, tiene una altura de 2335 msnm, el suelo es andisol de origen volcánico, posee una temperatura promedio de 17°C, precipitaciones de 2600 mm anuales y pertenece al bosque muy húmedo montano (Google Earth 2020).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados fueron analizados con la prueba estadística de t de Student al 0.95% y adicionalmente comparado ambas parcelas, con el testigo

DISEÑO DEL ÁREA EN ESTUDIO

El área de estudio en parcelas fue de 1000 m². Para el caso de la cebolla se utilizó la variedad Texas en una cantidad de siembra de 200 g. En el caso de la zanahoria se sembraron 10 000 semillas en los 1000 m² con la variedad Bangord y la parcela testigo representó un área con remanentes de papa y arvenses (Cuadro1).

Cuadro 1. Distribución de parcelas y componentes. EECD. Cartago, Costa Rica, 2018.

Parcela	Área	Componente
No. 1	1000 m ²	Cebolla
No. 2	1000 m ²	Zanahoria
No. 3	1000 m ²	Remanentes de papa y arvenses como testigo

Las tres parcelas con historial de la plaga y con siembras sucesivas de papa. La extracción de quistes se realizó mediante una muestra compuesta de 10 submuestras por cada parcela para una compuesta de 1 kg de suelo. Tomando en cuenta que los quistes están en el suelo, aun cuando no hay papa sembrada; pero si residuos de cosecha, se realizaron cinco muestreos, el primer muestreo al inicio con el marcaje de las parcelas y siembra de cebolla y zanahoria y los cuatro siguientes cada 45 días aproximadamente. Los muestreos se realizaron en forma de zig-zag, para una muestra compuesta de 1000 g de suelo (Figura 1), de la misma se obtuvo una muestra de 250 g de suelo seco, de la cual se extrajeron los quistes para su respectivo análisis.

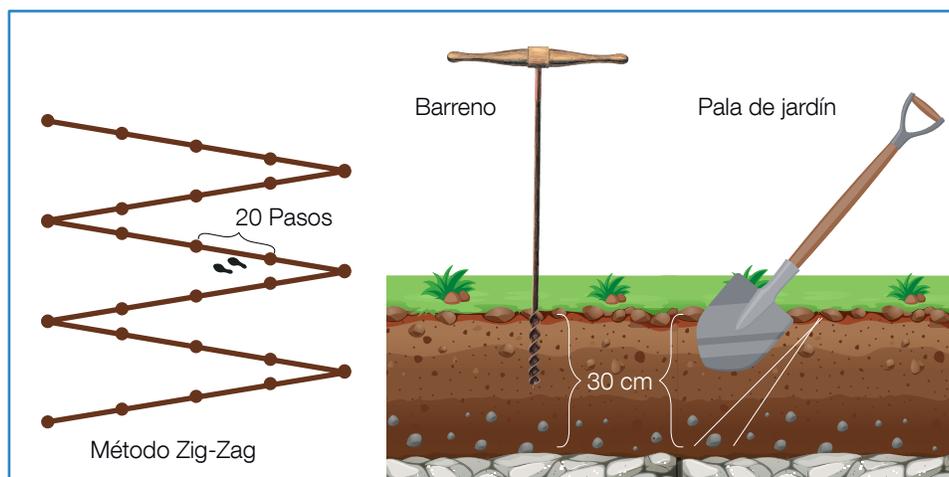


Figura 1. Sistema de muestreo en campo. CIP 1986

Extracción de quistes

Para la extracción de quistes se utilizó el sistema de Fenwick modificado (Fenwick 1940; Oostenbrink 1950). Este método consiste en un embudo colocado sobre un recipiente el cual en su parte ensanchada tiene un tamiz con poros de 1 mm de diámetro en el cual se deposita la muestra del suelo. El instrumento es de forma

trapezoidal en su parte inferior, presenta los soportes del embudo y una aleta inclinada que bordea el recipiente como collar, pero termina en un solo conducto (Figura 2A). Al caer la muestra al depósito inferior del instrumento, hace que los residuos orgánicos precipiten al fondo y la materia más liviana flote, la cual es recogida por un tamiz de 100 mesh, el cual tiene una abertura de 0,038 mm y un diámetro de 0,035 mm.



Figura. 2 (A) Fenwick modificado, (B) balón aforado de 250 ml y (C) filtro para la extracción de quistes. San José, Costa Rica. 2018.

Prueba de Viabilidad

A los quistes extraídos, se les realizó la prueba de viabilidad, que consiste en obtener el promedio de huevos y larvas por quiste. Este se efectuó tomando 25 quistes, triturándolos con un homogenizador (Figura 3). Luego se disolvió en un volumen de agua de 50 cc, posteriormente, con una pipeta se tomaron 2 cc para obtener el promedio de huevos y larvas por quiste mediante cálculo matemático, como se indica en la siguiente fórmula:

$$VT = \frac{\text{Prom. 3cc x Vol.H}_2\text{O:}}{Q}$$

Donde:

VT= Viabilidad Total

Prom= Promedio de tres alícuotas

Q= Número de quistes



Figura 3. Homogeneizador de quistes. INTA, Costa Rica. 2005.



Figura 4. (A) Parcela testigo. (B) Parcela zanahoria. (C) Parcela cebolla. EECD, Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

Variables a Evaluar

Las siguientes representan las variables a evaluar durante la investigación:

1. Cantidad de quistes en muestra de 250 g de suelo seco por parcela.
2. Cantidad de larvas y huevos por quiste (viabilidad) y por g de suelo seco.
3. Comparación de las parcelas de cebolla y zanahoria, con un testigo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las variables evaluadas se reflejan en el muestreo inicial con la población de nematodos en las parcelas de los cultivos y el testigo (cuadro 2).

Cuadro 2. Promedio de las poblaciones de las variables durante el muestreo inicial. Cartago, Costa Rica. 2018.

Cultivo	Cantidad de quistes	Larvas y huevos/ quiste	Total larvas y huevos	Promedio larvas y huevos/g de suelo
Cebolla	39	150,00	5,850	25,21
Zanahoria	47	148,00	6.956	29,98
Testigo	40	280,00	11.200	42,42
Cebolla	35	85,00	2,975	11,35
Zanahoria	38	92,50	3,515	13,41
Testigo	42	165,00	6,930	25,66
Cebolla	35	92,00	3,220	12,73
Zanahoria	38	78,00	2,960	11,58
Testigo	46	230,00	10,580	32,55
Cebolla	58	145,00	8,410	30,47
Zanahoria	48	138,00	6,624	23,83
Testigo	46	230,00	10.580	32,55
Cebolla	13	102,00	1,325	4,41
Zanahoria	20	125,00	2,500	8,33
Testigo	58	220,00	12.760	53,17

En el Cuadro 3, muestra el análisis de la prueba de t de Student al 0,5% durante la investigación de las parcelas tanto de cebolla, como de zanahoria. El análisis estadístico no demostró significancia estadística según la prueba t de Student (0.5%). En la Figura 5, se observa una disminución de la plaga desde el primer muestreo hasta el último, en la variable más importante de viabilidad en larvas y huevos por g de suelo seco. El mismo muestreo las poblaciones en ambas parcelas se obtuvo un número de poblaciones por debajo del umbral de daño establecido, a partir de los 13 larvas y huevos/g de suelo seco (Piedra 2008). Con la rotación de estos cultivos, se observó una tendencia a la baja en poblaciones de *Globodera* spp. Al cambiar de cultivo y obtener los exudados radicales diferentes, es muy probable que no se adaptó su nuevo entorno o huésped y esto produjo, una reducción de las poblaciones, por debajo del nivel de daño establecido.

Cuadro 3. Prueba de t de Student para las parcelas cebolla y zanahoria en las variables durante la investigación. Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

VARIABLES	Grupo (1)	Grupo (2)	Media (1)	Media (2)	Probabilidad
Cantidad de quistes	Cebolla	Zanahoria	36	38,2	0,8077
Larvas y huevos/ quiste	Cebolla	Zanahoria	114,8	116,3	0,9394
Total larvas y huevos	Cebolla	Zanahoria	4,96	4,51	0,8114
Larvas y huevos/g de suelo seco	Cebolla	Zanahoria	16,83	17,43	0,9272
					NS

* Valores menores al 0.05% tienen significancia según prueba de t de Student

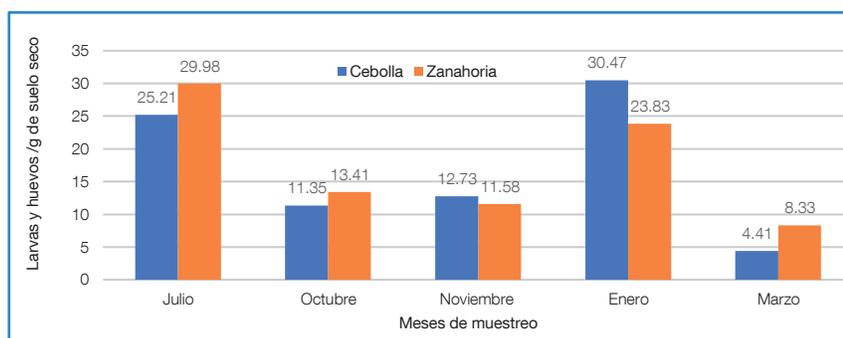


Figura 5. Promedio de larvas y huevos/g de suelo seco en cultivos cebolla y zanahoria. EECD. Cartago, Costa Rica. 2018- 2019.

Con base en el área sin siembra de cultivo (testigo) y con los resultados obtenidos, se realizó una comparación de las parcelas, tanto de cebolla como de zanahoria (Cuadro 4). Al realizar la prueba t de Student, en el caso de cebolla y el testigo, se obtuvieron diferencias significativas importantes en las variables: larvas y huevos por quiste, total de larvas y huevos y larvas y huevos/g de suelo seco. Cuadro 4, 5 y Figura 6.

Cuadro 4. Poblaciones y promedio de variables entre parcelas cebolla vs testigo absoluto durante las fechas de la investigación. EECD, Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

Parcelas	Cantidad de quistes	Larvas y huevos/ quiste	Total larvas y huevos	Larvas y huevos/g de suelo
Cebolla	39	150	5,850	25,21
Testigo	55	220	12.100	44,81
Cebolla	35	85	2,975	11,35
Testigo	40	280	11.200	42,42
Cebolla	35	92	3,220	12,73
Testigo	42	165	6,930	25,66
Cebolla	58	145	8,410	30,47
Testigo	46	230	10.580	32,55
Cebolla	13	102	1,325	4,41
Testigo	58	220	12.760	53,17

Cuadro 5. Prueba t de Student para las parcelas cebolla y testigo absoluto. Cartago, Costa Rica. 2018-2019.

Variables	Grupo (1)	Grupo (2)	Media (1)	Media (2)	Probabilidad
Cantidad de quistes	Cebolla	Testigo	36	48,2	0,1653
Larvas y huevos/ quiste	Cebolla	Testigo	114,8	223	0,0015*
Total larvas y huevo	Cebolla	Testigo	4356	10914	0,0046*
Larvas y huevos/g de suelo seco	Cebolla	Testigo	16,83	39,72	0,0097*

* Valores menores al 0.05% tienen significancia según prueba de t de Student

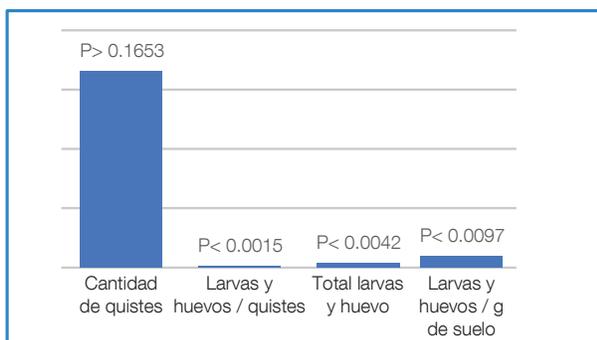


Figura 6. Análisis de variables en cebolla vs testigo absoluto con la probabilidad de significancia estadística según prueba de t de Student al 0.5%. Cartago, Costa Rica, 2018-2019.

De igual manera se realizó la comparación para la parcela de zanahoria con el mismo testigo y el resultado fue semejante, las variables Larvas y huevos por quiste, total de larvas y huevos y larvas y huevos por g. de suelo seco resultaron con diferencias significativas al 0.05% en la prueba de student (Cuadro 6 y Figura 7). La variable de cantidad de quistes fue no significativa. Para este caso las poblaciones en los diferentes quistes siempre reflejan poblaciones muy similares, no así, en la viabilidad de los mismos (larvas y huevos por quiste), siendo esta la variable más importantes para analizar el comportamiento de la plaga durante la investigación.

Cuadro 6. Prueba t de Student para las parcelas zanahoria y testigo absoluto. Cartago, Costa Rica. Período: 2018-2019

Variables	Grupo (1)	Grupo (2)	Prueba T para muestras Independientes		
			Media (1)	Media (2)	Probabilidad.
Larvas y huevos/quiste	Testigo	Zanahoria	223	116,3	0,0015*
Cantidad de quistes	Testigo	Zanahoria	48,2	38,2	0,1429
Total larvas y huevo	Testigo	Zanahoria	10,72	4,51	0,0021*
Larvas y huevos/g de suelo seco	Testigo	Zanahoria	39,72	17,43	0,0077*

* Valores menores al 0.05% tienen significancia según prueba t de Student.

En términos generales y tomando como variable más importante, larvas y huevos/g de suelo seco, los dos cultivos mostraron diferencias importantes con respecto al testigo absoluto. Al inicio en cebolla con una población de 25,21, zanahoria 29,98 y el testigo con 44,81. Al finalizar los muestreos, cebolla obtuvo una reducción de *Globodera* spp. a 4,41 zanahoria 8,32, ambos por debajo del umbral de daño establecido (13 larvas y huevos/g de suelo seco) y el testigo incrementó a 53,17. Ver Cuadro 7 y Figura 7.

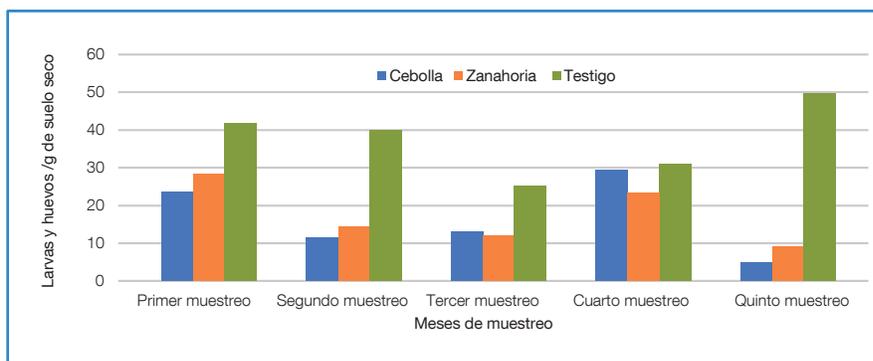


Figura 7. Dinámica poblacional de larvas y huevos/g de suelo seco en investigación de rotación de cebolla, zanahoria y un testigo absoluto. EECD. Cartago, Costa Rica. Período: 2018-2019.

Cuadro 7. Promedio de Larvas y huevos/g de suelo seco entre parcelas, zanahoria, cebolla vs testigo absoluto durante la investigación. EECD, Cartago, Costa Rica. Período: 2018-2019.

Cultivo	Primer muestreo	Segundo Muestreo	Tercer muestreo	Cuarto muestreo	Quinto muestreo
Cebolla	25,21	11,35	12,73	30,47	4,41
Zanahoria	29,98	13,41	11,58	23,83	8,33
Testigo	44,81	42,42	25,66	32,55	53,17

El resultado final demostró, una reducción de la plaga en ambos cultivos y comprueba que la alternancia de estos dio un efecto alelopático; es decir, hay especies de plantas que liberan metabolitos secundarios que afectan el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos del suelo (Lampkin 1988). Así mismo y de acuerdo con la revisión de literatura, algunas plantas en determinadas condiciones liberan al ambiente compuestos biológicamente activos como alelotoxinas. Estas sustancias ejercen efectos inhibitorios sobre el crecimiento y desarrollo de otras especies relativamente próximas. Por otra parte, las plantas en rotación de cultivos en su desarrollo fenológico pueden producir distintos aleloquímicos, que actúan sobre otros organismos produciendo un efecto negativo que reducen las poblaciones (Sampietro 2001). Los resultados son importantes, para poder contar con parámetros para la posterior toma de decisiones, es decir, es fundamental tener un estudio sobre el daño o umbral de esta plaga en plantas susceptibles de papa. Al respecto, se tomó como base la variedad Floresta, a partir de valores mayores al de **13,0 larvas y huevos** de *Globodera* spp./g de suelo seco (Piedra 2009); por consiguiente, se pudo determinar que en el muestreo final, los valores fueron menores tanto en: cebolla (4,41) como zanahoria (8,33).

Otra ventaja de la rotación de cultivos es que, sustituye al uso continuo de un cultivo que conlleva a un incremento de poblaciones de *Globodera* spp (Colé y Howard 1966; Drokpin 1988). Por otra podría haberse dado una relación de genes de resistencia y tolerancia en el hospedante, que se complementa con genes de virulencia y adaptación en el nematodo (Howard 1965). En este caso, tanto la zanahoria como la cebolla en la rotación, hicieron que el nematodo del quiste tenga un rango muy limitado, para poder seguir multiplicándose con ciclo de vida.

Según Stone 1985 y Franco *et al.* 1993, EL ciclo de vida del nematodo inicia o comienza con la presencia de los exudados radiculares del hospedero, en este caso el cultivo de papa, permiten emerger los segundos estadios juveniles (JII) de *Globodera* spp los cuales invaden las raíces y empieza a formar su ciclo de vida y por ende el quiste, este fenómeno no ocurrió al cambiar de cultivo; en este caso al sembrar cebolla y zanahoria. Aunque siempre existe los exudados radicuales es probable que esas sustancias tengan alguno tipo de reacción aleloquímica al nematodo (Choesin y Boerner 1991) y Carpentier *et al.* (1998)

La investigación demostró que el nematodo tiene un rango muy limitado cuando se le cambia de cultivos como zanahoria y cebolla y hace que las poblaciones tiendan a reducir considerablemente. En referencia a la variable más importante, larvas y huevos/g de suelo seco, los dos cultivos demostraron una dinámica poblacional de la plaga muy importante y se demuestra con lo siguiente: al inicio en la cebolla se obtuvo una población de 25,21, en zanahoria de 29,98 y en el testigo de 44,81. Al finalizar los muestreos indicaron: la parcela cebolla una reducción de *Globodera* spp a 4,41, zanahoria a 8,32 y el testigo incrementó a 53,17. Se concluye que, en las parcelas sembradas con zanahoria y cebolla, redujeron significativamente las poblaciones de *Globodera* spp en cantidad de larvas y huevos por quiste, el total de larvas y huevos; así como larvas y huevos/g de suelo seco. Lo anterior, se confirmó al realizar el análisis estadístico en la prueba de t de Student. Los cultivos de cebolla y zanahoria, demostraron ser una alternativa de rotación de cultivos para contribuir con la reducción de *Globodera* spp que afecta al cultivo de papa. También es recomendado sembrar estos cultivos cuando el mercado lo exige, así el productor tiene otra alternativa de ingresos cuando no siembra el cultivo de papa.

LITERATURA CITADA

- González; M, Arias; Rodríguez-Kábana, R. (eds). Alternatives to Methyl Bromide for the Southern European Countries. *Phytoma* 99-126.
- Brenes, A; Rivera, C; Vásquez, V. 2002. Cultivo de papa en Costa Rica. San José, Costa Rica. Euned. p. 120.
- Carpentier, N; S, Bostyn; JP. Coïc. 1998. Isolation of a rich glucosinolate fraction by liquid chromatography from an aqueous extract obtained by leaching dehulled rapeseed meal (*Brassica napus* L.). *Industrial Crops and Products* (8):151-158.
- CIP (Centro Internacional de la Papa). 1986. Nematodo de quiste de la papa. *Boletín de Información Técnico* 9. p. 12.
- Choesin, DN; REJ, Boerner. 1991. Allyl isothiocyanate release and the allelopathic potencial of *Brassica napus* (Brassicaceae). *American Journal Botany* 78(8):1083-1090.
- Cole, C; Howard, H. 1966. The effects on a population of potato root eelworm (*Heterodera rostochiensis*) of growing potato resistant to pathotype B. *Annual Applied Biology* 58:487-495.
- Cook S y R; Rivoal, R. 1998. Genetics of resistence and parasitism. Sharma SB Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, p. 132.
- Crozzoli, PR. 1994. Temas de nematología Agrícola I. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Comisión de información. p. 8-9.
- Dropkin, V. 1988. The concept of race in phytonematology. *Annual Review Phytopathology* 26:145-161.
- Google earth. 2020. Tierra Blanca. Cartago. Julio. Costa Rica.
- Franco, J; González, A; Matos, A. 1993. Manejo integrado del nematodo quiste de la papa *Globodera* spp. CIP (Centro Internacional de la Papa) Lima, Perú. p. 11-30.
- Franco, J. 1986. Nematodo del quiste de la papa. *Boletín de Información Técnica* 9. CIP (Centro Internacional de la Papa), Lima, Perú. p. 5- 15.
- Lampkin, N. 1988. Agricultura ecológica. España. Mundi Prensa. 497 p.
- González, A; Franco, J. 1997. Los nematodos en la producción de semilla de papa: Lima, Perú. CIP (Centro Internacional de la Papa). Fascículo 3.9. p13
- Hooker, W. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú. p. 166.
- Howard, H. 1965. Biotypes of potato root eelworm Great Britain. *Tagungsber. Dtsch. Landwirtschaftswiss.* Berlin, Gross-Lusewitz N° 20. p. 95-106.
- Oostenbrink, M. 1950. Het aardappelaaltje (*Heterodera rostochiensis* Wollenweber) een gevaarlijke parasiet voor de eenzijdige sardappelcultuur. *Versl. Meded. plziektenk. Dienst. Wageningen* Pp 115: 230.
- Pumisacho, M; Sherwood, S. 2002. El cultivo de la papa en Ecuador. INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). Pp. 21-23, 229 p.
- Montessoro, R. 1994. Enfermedades y desórdenes de la papa en México. México, Sabritas. 86 p.
- Rivas, A. 2002. Manual técnico: Nematodos asociados a limón pérsico y otros cítricos en fincas de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. San Salvador. p.49.
- Sampietro, D. 2001. Alelopatía: Concepto, características, metodología de estudio e importancia, (en línea). Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán. Argentina. Consultado 23 ago. 2007. Disponible en <http://fai.unne.edu.ar/biologia/plantas/alelopatia.htm>
- SIA; CNP. (3 de abril de 2017). Análisis y Monitoreos de Mercados Papa. Recuperado el 25 de 07 de 2017, de simacr.go.cr: <https://simacr.go.cr/index.php/mercados-de-papa>
- Stone, AR. 1985. Co-evolution of potato cyst nematodes and their hosts: implications for pathotypes and resistance. *EPPO. Bulletin* 15. p. 131-137.
- Scurrah, M. 1981. Evaluación de la resistencia en papa a los nematodos del quiste. *Boletín de información técnica* 10. CIP (Centro Internacional de la Papa). Lima, Perú. p.16.

EMISIÓN DE METANO Y ÓXIDO NITROSO DE EXCRETAS DE BOVINOS EN COSTA RICA

Johnny Montenegro-Ballesteros¹, Eduardo Barrantes-Guevara²

RESUMEN

Emisión de metano y óxido nitroso de excretas de bovinos en Costa Rica. En el trópico seco de Costa Rica se cuantificó la emisión de N_2O-N y de CH_4-C proveniente de excretas de bovinos, y se evaluó la influencia de las condiciones climáticas en la emisión de estos gases. Para ello se recolectó orina y excretas sólidas de novillos Brahman y se establecieron cuatro experimentos según época climática: seca, transición a lluvias, lluviosa, y transición a época seca. En cada una se evaluaron tres tratamientos: orina, excretas sólidas y, testigo sin excretas, y cinco repeticiones en un arreglo de parcelas divididas. Las evaluaciones se realizaron durante 30 días en cada época climática, utilizando la técnica de la cámara fija para recolectar muestras gaseosas. La emisión de óxido nitroso mostró las mayores fluctuaciones y con episodios de emisión más elevados durante la época lluviosa, y valores intermedios para la transición tanto a la época lluviosa como a la seca. Además, presentó interacción de época*tratamiento ($P<0,041$). La emisión de metano fue mayor ($P<0,0171$) en las excretas sólidas. Los factores de emisión determinados para el N_2O-N y CH_4-C (0,25% y $306,4 g^{-1} c^{-1} a^{-1}$, respectivamente) son inferiores a los propuestos por IPCC. Los resultados apoyan la realización de este tipo de investigación y la utilización de los mismos para calcular y estimar la emisión de estos gases proveniente de este tipo de sustrato.

Palabras clave: Trópico, factor de emisión, ganado bovino, época climática, Brahman

ABSTRACT

Methane and nitrous oxide emitted from bovine excreta in Costa Rica. This research was carried out in the tropic dry forest ecosystem of Costa Rica in order to quantify the emission of N_2O-N and CH_4-C from bovine excreta, and to assess the influence of climatic conditions on the emission of these gases. Urine and solid manure were collected from Brahman steers and four experiments were established according to different climatic condition: dry season, transition to rainy season, rainy season, and transition to dry season. In each one three treatments were evaluated: urine, dung and, control without excreta, each with five replicates, with an arrangement of divided plots. The evaluations were carried out for 30 days in each season, using the fixed chamber technique to collect gaseous samples. The emission of nitrous oxide showed the

1 Investigador en Cambio Climático y Agricultura, Convenio: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Agropecuaria (INTA) – Instituto Meteorológico Nacional (IMN), Costa Rica. E-mail: jmontenegro@imn.ac.cr, jmontenegro@inta.go.cr. Teléfono (506) 2222-5616 / Fax (506) 2223-1837. ORCID:0000-0001-8526-570X

2 Dirección de Investigación y Transferencia, Universidad Técnica Nacional - Sede Atenas, Email: ebarrantes@utn.ac.cr Teléfono (506) 2455-1004 ORCID: 0000-0002-0383-3388

greatest fluctuations and with higher emission episodes during the rainy season, and intermediate values for the transition to both the rainy and dry seasons. In addition, the emission presented season*treatment interaction ($P < 0.041$). The methane emission was higher ($P < 0.0171$) for solid excreta. The emission factors determined for N_2O-N and CH_4-C (0.25% and $306.4 \text{ g}^{-1} \text{ c}^{-1} \text{ a}^{-1}$) are lower than those proposed by IPCC. The results support both the realization of this type of research and the use these values for the calculation and estimation of the emission from this type of substrate.

Keywords: Tropic, emission factor, cattle, season, Brahman

INTRODUCCIÓN

El incremento de la concentración atmosférica de metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), gases denominados con efecto invernadero (GEI), están fuertemente correlacionados con el calentamiento global. Estimaciones recientes (NOAA 2018) muestran que a mediados del 2018, los niveles atmosféricos promedio de CH_4 y N_2O fueron 53 y 16% más altos que los observados en 1900; estos gases tienen un potencial de calentamiento 21 y 310 veces mayor que el CO_2 .

Diferentes sectores contribuyen con la emisión de los GEI siendo el agropecuario uno de ellos, principalmente por el N_2O que se deriva de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y el CH_4 producto de la fermentación entérica. También debe considerarse la emisión directa e indirecta de estos dos gases que son generados en las excretas de ganado que se depositan en las pasturas. De acuerdo con proyecciones realizadas, se estima que para el 2030 debido al aumento en la demanda de productos ganaderos, la emisión de N_2O y CH_4 se incrementarán entre 35% y 60% (Oenema *et al.* 2005).

La emisión de N_2O está directamente relacionada con la baja eficiencia de utilización del nitrógeno (N) consumido, ya que entre 70% y 95% del N ingerido es retornado al suelo en las excretas sólidas y la orina (Oenema *et al.* 2005, Sagggar *et al.* 2013). En consecuencia, pequeñas áreas reciben gran cantidad de N disponible ($500-1000 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}$) (Williams y Haynes 2000; Barneze *et al.* 2014).

La gran concentración de N y carbono (C) en las excretas sólidas y en los parches de orina

de los bovinos actúan como “puntos calientes” para la emisión de N_2O , ya que el suministro de nitrógeno en los parches de excretas excede el potencial de asimilación (Haynes y Williams 1993) y retención por parte de las plantas, los microorganismos y el suelo (Di *et al.* 2014).

Por lo tanto, se pierde el exceso de N del sistema por lixiviación de nitratos (NO_3-N) y emisiones gaseosas (por ejemplo, N_2O) (Di y Cameron 2002; Sagggar *et al.* 2011). Según Oenema *et al.* (2005) la emisión de N_2O derivada de estas excretas es muy significativa ya que comprenden más del 40% del total asociado con los sistemas de producción animal.

Debido a que las emisiones a menudo se correlacionan positivamente con la temperatura (González-Avalos y Ruiz-Suárez 2001; Rochette *et al.* 2014), se podría esperar que, en los sistemas de producción animal ubicados en el trópico, la emisión de N_2O y CH_4 generadas por las excretas sean mayores que en los climas templados. Sin embargo, la inferior calidad nutritiva de las pasturas en el trópico con respecto a aquellas de climas templados, así como el predominio del ganado de carne *Bos taurus* manejado en Costa Rica puede tener influencia en las emisiones de estos dos gases por diferencias en la eficiencia de aprovechamiento del alimento consumido.

En este sentido, el contenido de proteína en la dieta y su digestibilidad influyen en la cantidad y tipo de N y C presente en las excretas del ganado (Rotz 2004; Dijkstra *et al.* 2011). Por lo tanto, los alimentos de baja calidad probablemente resulten

en excretas con concentraciones reducidas de N y mayor relación C:N que las presentes en otras latitudes, lo cual influenciaría las emisiones que se deriven de ellas (Schlecht *et al.* 2006).

Actualmente, para estimar y reportar en los inventarios nacionales de gases con efecto invernadero la emisión proveniente de excretas de los bovinos, debido a la falta de factores nacionales, se utiliza el Nivel I de las directrices del IPCC (2006), las cuales indican que para el N₂O-N utilizar el 2% del N contenido en las excretas. En el caso del CH₄ proveniente de las excretas sólidas de los bovinos, el IPCC (2006) sugiere para América Latina la utilización del factor de emisión de 1,0 kg animal por año.

Usualmente los valores sugeridos por IPCC provienen de estudios realizados en clima templado, algunos de ellos en condiciones de laboratorio, y por lo tanto no reflejan las condiciones específicas (suelo, clima, manejo nutricional) del lugar donde se desarrollan muchos sistemas de producción (de Klein *et al.* 2003; Bell *et al.* 2015), mucho menos condiciones tropicales.

En este sentido, el IPCC alienta el desarrollo de factores específicos del país (Nivel 2), especialmente para las fuentes de emisión clave. Si esta información está disponible, es posible utilizarla para el cálculo de la emisión a reportar en los inventarios o comunicaciones nacionales.

Países como Australia y Nueva Zelandia (2012) han desarrollado sus propios factores de emisión de manera individual para la orina y las excretas y los utilizan para los cálculos correspondientes incluidos en los reportes de los inventarios de sus países (Kelliher *et al.* 2014; Department of Climate Change and Energy Efficiency 2014).

Con respecto al desarrollo de investigaciones para la obtención de factores de emisión, Byrnes *et al.* (2017) en Colombia, Mazzeto (2014) en Brasil, Luo *et al.* (2013) en Nueva Zelandia, Krol *et al.* (2016) en Irlanda, Pelster *et al.* (2016) en Kenia, y Bell *et al.* (2015) en Escocia, determinaron que estos fueron más bajos que el valor del 2% sugerido por el IPCC.

En Costa Rica, al igual que en otros países del trópico, este tipo de información aún no está disponible, por lo tanto, se requiere investigación científica para determinar los factores de emisión correspondientes. Por lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron el cuantificar la emisión de N₂O-N y de CH₄-C provenientes de la orina y excretas sólidas de bovinos en el trópico seco de Costa Rica, evaluar la influencia de las condiciones climáticas a lo largo del año en la emisión de estos gases y comparar los factores de emisión determinados con los propuestos por el IPCC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio

Esta investigación se llevó a cabo en la Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede Atenas (9°56'20.65" N y 84°22'16.02" O, 546 msnm), Costa Rica; en un clima de bosque seco tropical, que tiene un promedio anual de 1200 mm de lluvia y 25°C de temperatura. Esta región presenta seis meses sin lluvia, condición que se presenta desde noviembre y hasta abril, meses donde ocurre la transición de la época lluviosa a la seca y, de la seca a la lluviosa.

El suelo de textura franco arcilloso se clasifica como Ultisol, con características químicas mostradas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo (0-20 cm de profundidad). Atenas, Costa Rica, 2018.

	pH	cmol (+)/L					%		mg/L				
Profundidad	H ₂ O	Acidez	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	
0-20 cm	5,4	0,19	8,2	4,6	0,4	13,4	1,4	1,0	1,5	33	288	37	

CICE = Capacidad de intercambio de cationes efectiva = Acidez + Ca + Mg + K

SA = Porcentaje de saturación de acidez = (Acidez/CICE)*100

Recolección de excretas

Las excretas sólidas provinieron de novillos Brahman de dos años de edad y un peso promedio aproximado de 280 kg, que pastoreaban *Brachiaria brizantha* cv Marandú sin fertilizar y con 45 días de rebrote; durante la época seca recibieron silopacas de la misma gramínea, pero con más de 60 días de rebrote. En ningún caso se les proporcionó suplemento.

Los novillos se introdujeron a un galpón donde la orina fue recolectada directamente de los mismos al momento de la micción, mientras que las heces fueron recogidas del suelo inmediatamente después de su deposición. La recolección de ambas excretas se realizó desde las 6 a.m. y hasta las 9 a.m., momento a partir del cual se trasladaron y depositaron en el sitio de la evaluación.

Diseño experimental y tratamientos

Se establecieron cuatro experimentos, uno en cada condición climática que se presenta a lo largo

del año. El primero se estableció durante la época seca, el segundo se implementó durante la transición de la época seca a la lluviosa. El tercero se efectuó en la época lluviosa, y finalmente el cuarto se desarrolló durante la transición de la condición lluviosa a la seca. En los cuatro experimentos las evaluaciones se realizaron durante 30 días a partir del momento que se aplicaron las excretas.

En todos los experimentos se evaluaron tres tratamientos (aplicación de orina, excretas sólidas, y testigo sin la adición de excretas), cada uno con cinco repeticiones.

El peso de las excretas sólidas y el volumen de la orina utilizados en cada una de las evaluaciones (Cuadro 2) fue el equivalente a un evento de deposición promedio (Mori y Hojito 2015) en cada una de las épocas climáticas; este se calculó con base en los pesos o volúmenes individuales de cada deposición determinados durante dos días, lo cual se realizó con anterioridad al inicio de los experimentos.

Cuadro 2. Concentración de nitrógeno en la orina y excretas sólidas, volumen y cantidad aplicada de cada uno de ellos según época climática. Atenas, Costa Rica, 2018.

Orina		Excretas sólidas			Materia seca, %
Época climática	Concentración de N (%)	Volumen aplicado, ml	Concentración de N (%)	Cantidad aplicada, kg	
Transición época seca a lluviosa	2,03	300	1,42	1,85	20,9
Lluviosa	0,61	565	1,69	1,29	15,4
Transición época lluviosa a seca	1,33	385	1,80	1,32	15,9
Seca	0,53	350	1,46	2,01	24,2

Las excretas se depositaron de manera que no sobresalieran el área cubierta por la cámara estática, la cual de 30 cm de alto y circunferencia de 94,2 cm, provista de un septum por donde se recolectó la muestra gaseosa.

Debido a que el cambio en el contenido de humedad del suelo es parte de la perturbación normal causada por la orina, en el tratamiento control no hubo aplicación alguna de líquido (Orwin *et al.* 2010) para mantener el contenido de humedad inalterado y reflejando la condición normal de la época climática.

El ganado no pastoreó el sitio donde se ubicaron los experimentos al menos desde dos meses antes del inicio de la primera evaluación. Esta área nunca recibió fertilización.

Previo a la aplicación de los tratamientos, y al inicio de cada ciclo de evaluación, se cortaron a 5 cm del suelo las gramíneas en los lugares donde se ubicaron las cámaras estáticas.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron de acuerdo con un diseño de parcelas divididas donde la parcela grande sería la época climática, y las parcelas pequeñas los tratamientos. Para determinar la diferencia entre medias, se utilizó Tukey con un nivel de 0,05 en InfoStat (DiRienzo *et al.* 2018).

Muestreo de gases

En cada uno de los experimentos realizados, el primer muestreo de gas se realizó el mismo día que se aplicaron los tratamientos y se recolectaron muestras gaseosas diariamente durante la primera semana del experimento, tres veces la segunda semana, dos veces la tercera semana, y luego una vez por semana hasta completar el período de evaluación. Todos los muestreos de gas se realizaron entre las 9 y las 11 a.m.

Cada día de muestreo se recolectó una muestra de gas inmediatamente después de colocar la cámara (45 cm diámetro, 30 cm alto) en

el campo (t_0) y otra después de 45 minutos (t_1) (Luo *et al.* 2011; Berneze *et al.* 2014; Bell *et al.* 2015), en ambos casos se utilizó una jeringa de polipropileno de 20 ml y se trasvasó de inmediato a un vial de vidrio al vacío previamente identificado.

Las muestras gaseosas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), utilizando un cromatógrafo de gases Agilent (modelo 7890A; Santa Clara, CA, Estados Unidos) equipado con dos detectores: ionización de llama y captura de electrones.

La concentración de N_2O y de CH_4 en las muestras gaseosas se determinó por interpolación a partir de curvas de calibración construidas con estándares de concentración conocida y trazable a NIST (Scott-Marrin, Inc., Ca.); como control de calidad se utilizaron muestras estándar las cuales se analizaron intercaladamente con las muestras provenientes del campo.

Cálculo del factor de emisión

El factor de emisión de N_2O-N , para cada época climática, se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación (Sordi *et al.* 2014):

Ec. 1

$$FE (\%) = \frac{(N_2O-N_{\text{emitido}}) - (N_2O-N_{\text{control}})}{N_{\text{aplicado}}} \times 100$$

Donde FE (%) es el factor de emisión (porcentaje del N aplicado en la orina o excreta sólida y emitido como N_2O-N), N_2O-N_{emitido} es la emisión de N_2O-N proveniente de la orina o excreta sólida (g), N_2O-N_{control} es la emisión de N_2O-N determinada en el tratamiento control (g), y N_{aplicado} es la cantidad de N aplicado con la orina o excreta sólida (g).

La cantidad de N aplicado se calculó multiplicando el peso seco de la excreta sólida por el contenido total de N; en el caso de la orina se obtuvo la cantidad de N aplicado multiplicando el volumen de orina por su concentración.

El metano producido, en $kg \text{ cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$, se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

Ec. 2

$$\text{CH}_4 = 365 * \frac{\text{kg PSE}}{\text{día}} \times \frac{\text{g CH}_4}{\text{kg PSE}}$$

donde CH_4 es la emisión anual (kg^{-1} cab), 365 es el total de días del año, PSE es el peso seco de las excretas diarias y, g CH_4 es la cantidad de metano emitida por cada kilo de materia seca de excretas. Para esta evaluación se asumió que la cantidad de excretas sólidas diarias representa aproximadamente el 4% del peso vivo del novillo (Pelster *et al.* 2016).

Otras determinaciones

El peso seco de las excretas sólidas se determinó secando submuestras de este sustrato en un horno de aire forzado a 60°C hasta peso constante, y la concentración total de N tanto de este material como de la orina se determinó mediante la técnica de micro Kjeldhal.

Muestras de suelo se recolectaron una vez por semana cerca de cada cámara de donde

se recolectaban las muestras gaseosas, y se determinó el contenido de agua por gravimetría. Este valor se utilizó de manera conjunta con la densidad aparente del suelo donde se realizaron los experimentos, para calcular el espacio poroso lleno de agua (EPA) del suelo.

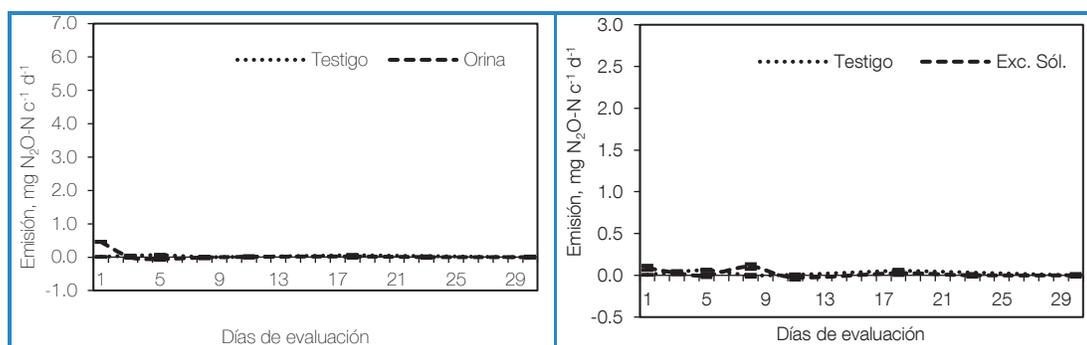
El EPA utiliza una escala de 0% (suelo completamente seco) a 100% (suelo sobre saturado de agua), en el cual entre 30% (punto de marchitez permanente) y 60% (capacidad de campo) se encuentra el agua disponible para las plantas, condición que se asocia con adecuados contenidos de humedad y oxígeno para la actividad microbiana del suelo.

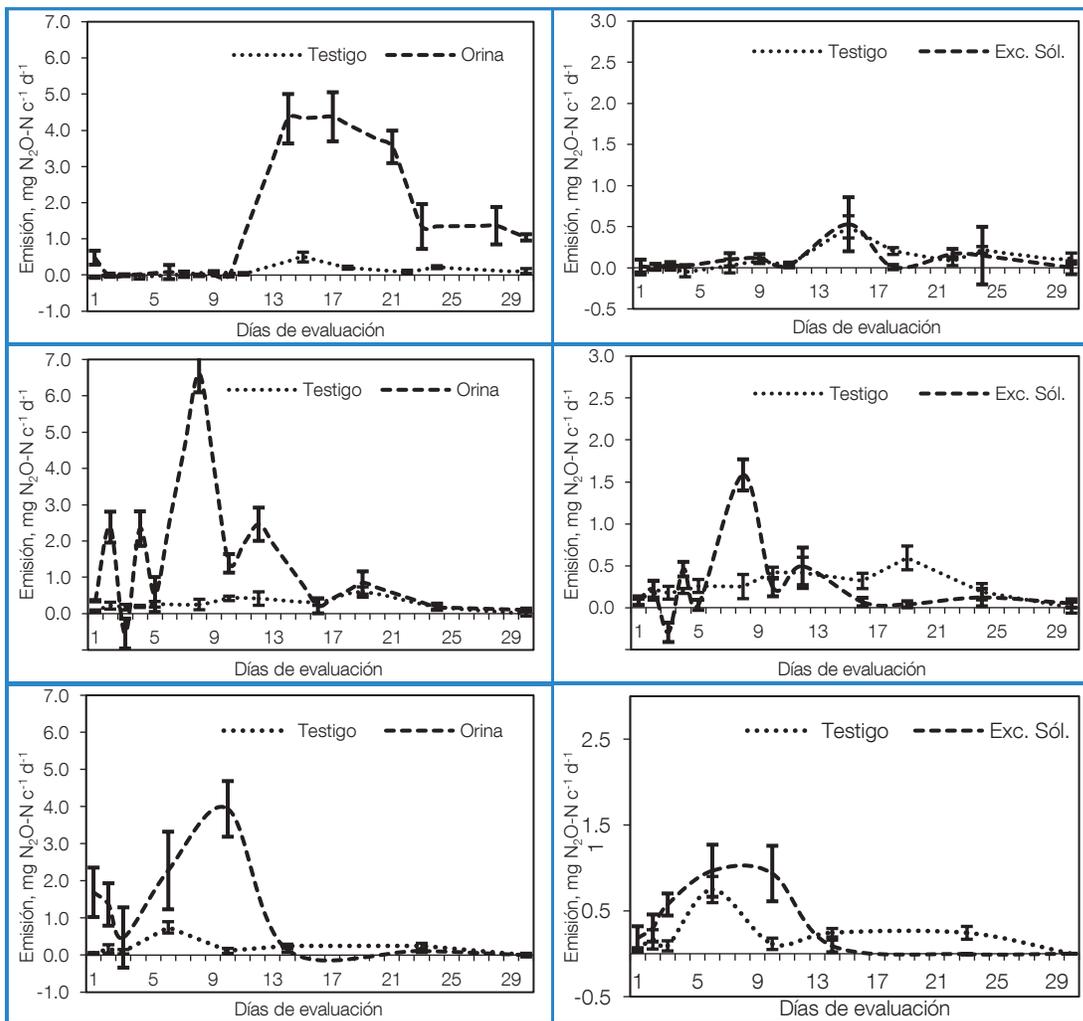
La temperatura del suelo en los primeros 10 cm de profundidad fue registrada cada día de muestreo de gases, para ello se utilizó un termómetro digital que se colocó a la par de cada cámara estática.

Los datos de la precipitación se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en la misma finca de la UTN, a menos de un kilómetro de distancia del sitio experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN**Emisión de óxido nítrico**

El patrón de emisión del óxido nítrico en cada uno de los dos sustratos evaluados varió tanto dentro como entre épocas climáticas (Figura 1). La variación observada fue mínima durante la evaluación realizada en la época seca, inclusive negativa para las excretas sólidas en algunas de las determinaciones efectuadas. La emisión del tratamiento testigo durante esta época fue similar a la de los dos sustratos evaluados.





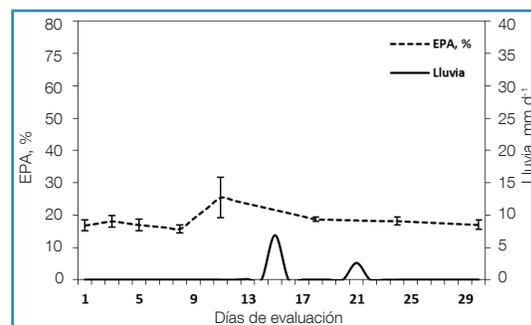
Promedio \pm 1 error estándar (EE); Época climática: Seca=A, E; Transición a lluvia=B, F; Lluviosa=C, G; Transición seca=D, H.

Figura 1. Flujo diario de N_2O-N proveniente de la orina y excretas sólidas de bovinos en diferentes épocas climáticas, Atenas, Costa Rica, 2018.

Las mayores fluctuaciones y con episodios de emisión más elevados se determinaron durante la época lluviosa, y valores intermedios para la transición tanto a la época lluviosa como a la seca (Figura 1). Para esas épocas, el tratamiento testigo mostró una tendencia similar a los sustratos evaluados, pero con inferior magnitud, salvo a partir de la tercera semana de evaluación para las excretas sólidas durante la estación lluviosa y de transición a la época seca.

Relación con la humedad del suelo

La cantidad y distribución de la lluvia afectó la humedad del suelo, referida como espacio poroso lleno de agua (EPA, %; Figura 2).



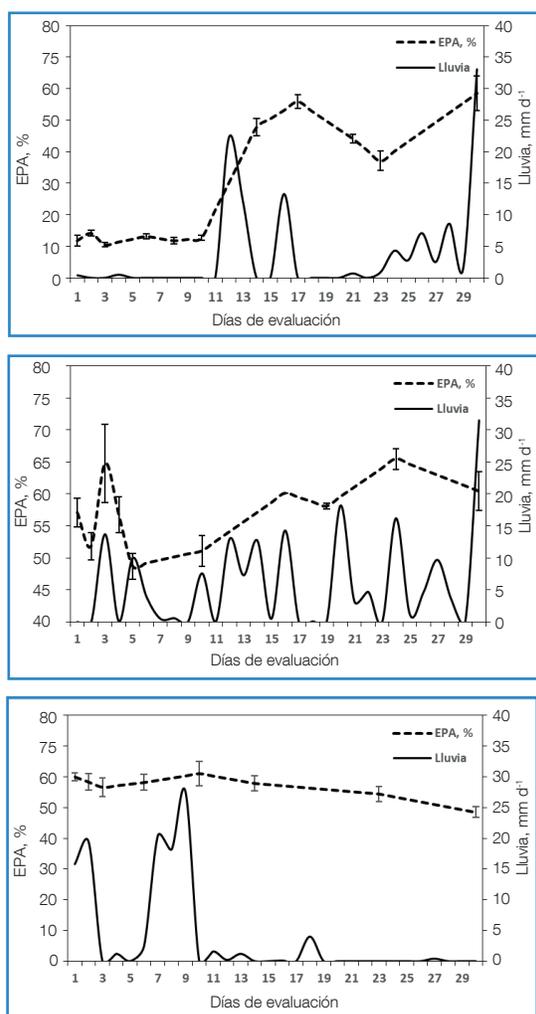


Figura 2. Lluvia diaria y espacio poroso lleno de agua, EPA %, durante diferentes épocas climáticas. Atenas, Costa Rica, 2018.

La lluvia acumulada durante los períodos evaluados y correspondientes a las diferentes épocas climáticas fue, tal y como se esperaba, mayor durante la época lluviosa (177,5 mm), similar en las épocas de transición a lluvias y a la seca (110,3 y 112,5 mm respectivamente), y casi nula para la época seca (7,0 mm); ello influyó en la humedad del suelo.

Los valores de EPA fueron bajos durante la época seca, cuando la lluvia fue mínima, incrementándose los valores con el inicio de las lluvias (época de transición) a valores cercanos a 60%, para disminuir posteriormente en la transición a la época seca.

Este patrón general observado en la humedad del suelo es similar al determinado con la emisión del óxido nítrico (Figura 1). De hecho, cuando se

consideró la emisión del óxido nítrico proveniente de la orina, el análisis de correlación mostró significancia ($P < 0,0001$) entre ambas variables en cada una de las diferentes épocas climáticas excepto para la época seca.

Para las transiciones de la época seca a la lluviosa y de la lluviosa a la seca, ambas correlaciones mostraron claramente la influencia de la humedad del suelo en los niveles de emisión, siendo la relación lineal y positiva.

La emisión de las excretas sólidas no mostró relación alguna con la humedad del suelo. Probablemente el hecho de que este sustrato quede sobre el suelo hace que la humedad de este no ejerza influencia en la generación y liberación del gas determinado.

Por otra parte, la temperatura ambiente fue relativamente alta, siendo el promedio diario similar y ligeramente mayor en la época seca ($27,9 \pm 0,24^\circ\text{C}$) y de transición al período lluvioso ($27,2 \pm 0,22^\circ\text{C}$) con respecto a la época lluviosa ($25,2 \pm 0,14^\circ\text{C}$) y de transición a la seca ($25,5 \pm 0,21^\circ\text{C}$). Esta condición cálida pudo causar el secado rápido de las excretas y con ello reducir la liberación del gas por la formación de una concha gruesa y dura en las excretas sólidas.

Una situación similar pudo causar la temperatura del suelo, ya que los valores obtenidos mostraron que durante la época seca y de transición a la lluviosa ($31,6 \pm 0,6$ y $31,4 \pm 0,4^\circ\text{C}$ respectivamente) esta fue superior a la observada durante la época lluviosa y de transición a la seca ($28,4 \pm 0,7$ y $28,6 \pm 0,6^\circ\text{C}$ respectivamente).

Emisión acumulada y factor de emisión

La emisión acumulada de óxido nítrico mostró diferencias entre épocas ($P < 0,0421$), tratamientos ($P < 0,0001$), así como interacción entre época y tratamiento ($P < 0,041$).

Los menores valores de emisión para la orina se determinaron en la época seca, intermedios en la época lluviosa y de transición a la seca, mientras que los más altos se detectaron durante la transición a la lluviosa (Cuadro 3).

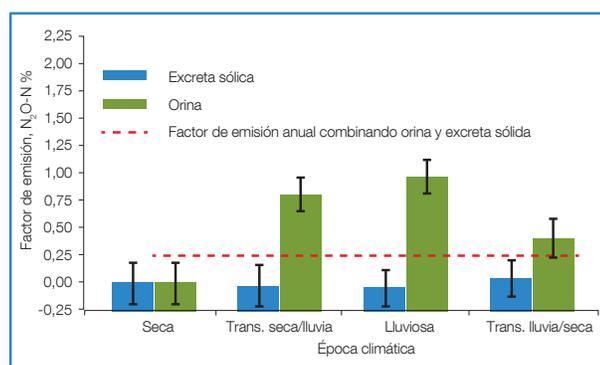
Cuadro 3. Emisión neta acumulada de N₂O-N, mg⁻¹ cámara, proveniente de orina y excretas sólidas de bovinos según época climática. Atenas, Costa Rica, 2018.

Época climática	Emisión en 30 días, mg/cámara	
	Orina	Excretas sólidas
Seca	0,04±0,10 ^{bc}	0,05±0,13 ^{bc}
Transición seca/lluvia	44,91± 7,66 ^a	-1,20±0,66 ^{bc}
Lluviosa	31,12±10,05 ^{ab}	-1,27±0,02 ^{bc}
Transición lluvia/seca	19,35±2,08 ^{ab}	1,16±1,56 ^{bc}
FE, promedio anual %	0,53±0,18^A	-0,06±0,10^B

En el caso de las excretas sólidas la emisión fue similar entre épocas climáticas, pero se observó tendencia a mayores valores de emisión durante la transición a la época seca (Cuadro 3).

En cuanto al factor de emisión (FE) se refiere, este fue mayor ($P < 0,0020$) para la orina con respecto a aquel de las excretas sólidas (Cuadro 3), mostrándose claramente el efecto de la lluvia/humedad del suelo en los FE (Figura 3), ya que los valores son mayores en cualquier época donde se presenta la lluvia. Esto demuestra la importancia de considerar las condiciones climáticas cambiantes a lo largo del año cuando se desarrolla en el trópico un factor de emisión.

Figura 3. Factor de emisión para el N₂O-N según tipo de excreta (sólida o líquida) y época climática. Atenas, Costa Rica. 2018.



Promedios ± 1 EE

El factor de emisión determinado en la orina fue mayor que para las excretas sólidas, situación que ha sido reportada en diferentes trabajos de investigación (van der Weerde *et al.* 2011; Sordi

et al. 2014; Pelster *et al.* 2016). Esto podría ser el resultado de que el N de la orina es más fácilmente disponible que el de las excretas sólidas (van der Weerde *et al.* 2011; Hoefft *et al.* 2012) y luego de la hidrólisis de la urea contenido en la orina puede ser transformado en NH₄⁺, nitrificado a NO₃⁻, el cual mediante denitrificación es transformado en N₂O (Orwin *et al.* 2010).

Por otra parte y con respecto a las excretas sólidas, el hecho de que estas queden sobre la superficie del suelo y expuestas a las condiciones ambientales cálidas (entre 25 y 28°C) se favorece la rápida formación de una capa exterior seca y dura que probablemente reduce de manera significativa la salida de este gas de las excretas al ambiente, condición observada y reportada por Mori y Hojito (2015). En consecuencia, ello se refleja en los bajos valores de emisión determinados.

También hay que considerar que posiblemente y dada la calidad de los forrajes del trópico con respecto a los de otros climas, parte del nitrógeno excretado esté ligado a taninos y paredes celulares, lo cual lo hace indigerible y poco disponible para ser mineralizado por los microorganismos. Esto reduce considerablemente la posibilidad de formación y liberación del óxido nitroso.

Los factores de emisión del N₂O-N determinados (0,02 a 0,59%) fueron similares a los reportados para Nueva Zelanda (van der Weerde *et al.* 2011) y Brasil (Sordi *et al.* 2014; Mazzeto 2014), así como en Colombia (Byrnes *et al.* 2017), Kenia (Pelster *et al.* 2016) y en Europa (Krol *et al.* 2016; Bell *et al.* 2015), y mostraron la misma tendencia: menores al valor sugerido por el IPCC (2006).

Una consideración importante a tener en cuenta cuando se desarrolla un factor de emisión en el trópico, es el de incluir en la evaluación las variables climáticas, especialmente la lluvia que presenta condiciones contrastantes a lo largo del año. Diferente nivel de emisión, relacionado con la humedad del suelo, como lo determinado en las cuatro épocas climáticas que se presentan en Costa Rica demuestran no solo la importancia de considerarlas, sino también que es posible reducir con ello la incertidumbre asociada cuando se estima la emisión anual.

Lo anterior es apoyado por Davidson *et al.* (2000) quien señaló que en el trópico la humedad del suelo, más que la temperatura, es el factor determinante para la generación y emisión de este gas, ya que según Ekcand *et al.* (2003) y Gao *et al.* (2014), cuando la EPA es menor de 40% se desfavorece la formación del N_2O-N .

Esto se pudo observar claramente en la transición de la época seca a la lluviosa, ya que con el inicio de las lluvias se incrementó la emisión de N_2O-N debido a que el aumento de agua en el suelo no solo redujo el oxígeno disponible, sino que también estimuló la actividad microbiana del mismo. La precipitación después de largos períodos secos causa el efecto pulsante o Birch (Birch 1958) en el cual las emisiones se incrementan después del inicio de la precipitación y vuelven a niveles bajos en pocos días (Sponseller 2007). Esto es impulsado por la mineralización renovada y la disponibilidad de N fácilmente descomponible (Borken y Matzner 2009). Este efecto disminuye cuando se regulan las lluvias y se presentan frecuencias de período corto de ciclos secos y húmedos (Borken y Matzner 2009).

Esto se encuentra directamente relacionado con el contenido de humedad del suelo (EPA) el cual ha sido catalogado como uno de los principales factores de la emisión de este gas (Davidson *et al.* 2000). De esta forma se explican las menores emisiones detectadas en la época seca cuando el suelo contiene mínima cantidad de agua. Sin embargo, cuando el EPA se aproxima o supera el 60%, la emisión también disminuyó probablemente porque las condiciones de suelo no favorecen la denitrificación y con ello disminuye la generación de este gas nitrogenado.

Emisión de metano

El patrón de emisión para el CH_4-C mostró que los flujos variaron tanto con el tipo de excreta como con la época climática. En el caso de las excretas sólidas, el patrón fue similar para todas las épocas dado que la emisión se presentó durante la primera semana de evaluación, aunque

los mayores valores se registraron durante la época lluviosa y de transición a la seca (Figura 4).

En el caso de la evaluación realizada durante el período seco (Figura 4A), una fracción del tiempo mostró tener valores negativos lo cual es un indicador de que durante ese tiempo el suelo fue sumidero de CH_4-C . Similar condición también se determinó durante las evaluaciones realizadas en las épocas de transición (Figuras 4B y 4D).

En cuanto a la emisión proveniente de la orina, esta fue menor que la de las excretas sólidas, con valores cercanos a cero (Figuras 4E, G, H), con la excepción de la determinada con el inicio de las lluvias en el período de transición (Figura 4F y Figura 2B) cuando se observó un incremento importante de la emisión.

Este efecto no se observó con las excretas sólidas, probablemente la temperatura ambiente promedio ($27,2^{\circ}C$) contribuyó a que se secase rápidamente y formara una capa exterior dura y sólida que impidió filtración de gas y consecuentemente la emisión fue baja (Figura 4B).

Emisión acumulada y factor de emisión

La emisión de CH_4-C mostró diferencias ($P<0,0031$) entre el tipo de excreta y época climática. Los mayores valores fueron detectados en las excretas sólidas durante la transición a la época seca (Cuadro 4); los menores y similares valores en las restantes épocas.

En el caso de la orina no hubo diferencias en los niveles de emisión entre épocas climáticas, sin embargo presentó tendencia a mostrar menores valores en la época seca y mayores durante la transición a la época (Cuadro 4).

Con respecto al factor de emisión (FE), este fue diferente ($P<0,0171$) entre excretas, siendo mayor para las sólidas (Cuadro 4). El FE anual para ambas excretas fue de $306,4\pm 35,6$ g de CH_4-C por animal por año, el cual es inferior al sugerido por el IPCC.

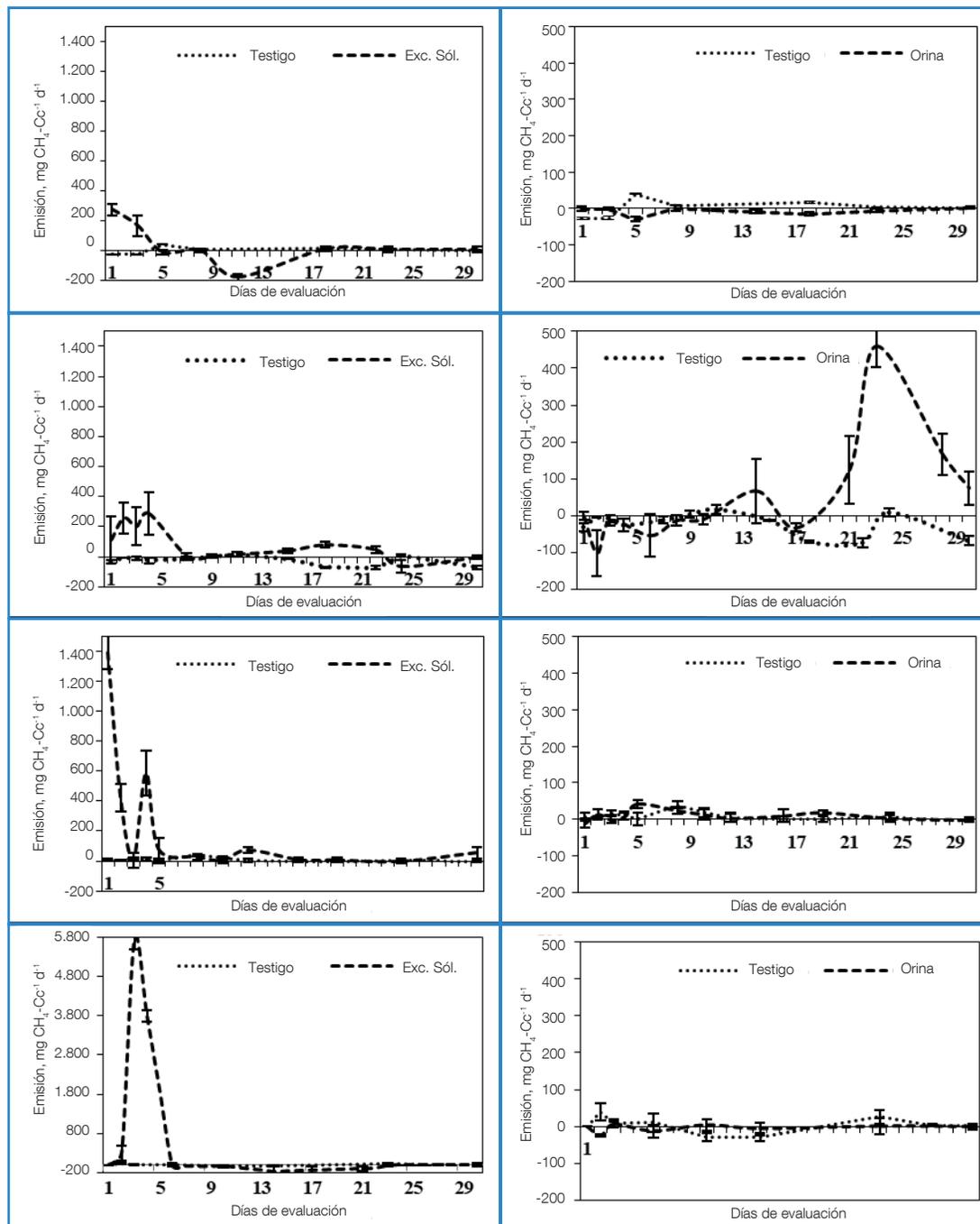


Figura 4. Flujo diario de $\text{CH}_4\text{-C}$ proveniente de excretas sólidas y orina de bovinos según época climática. Atenas, Costa Rica, 2018.

La cantidad de metano determinada en esta investigación mostró ser similar a lo informado por diversos investigadores en diferentes partes del mundo: Brasil (Mazzetto 2014), Kenia (Pelster *et al.* 2016), México (González-Avalos 2001), quienes de manera conjunta coinciden en el hecho de que la emisión de metano proveniente de las excretas bovinas es inferior al valor sugerido por el IPCC (2006).

Cuadro 4. Emisión neta acumulada de CH₄-C, mg⁻¹ cámara, proveniente de excretas sólidas y orina de bovinos según época climática. Atenas, Costa Rica, 2018.

Época climática	Emisión en 30 días, mg cámara ⁻¹	
	Excretas sólidas	Orina
Seca	-0,36±0,66 ^b	-0,41±0,15 ^b
Transición seca/lluvia	1,95±0,33 ^b	3,33±1,85 ^b
Lluviosa	2,55±0,98 ^b	0,42±0,27 ^b
Transición lluvia/seca	12,49±4,77 ^a	0,47±0,48 ^b
FE, anual g	270,5±62,2^A	35,9±16,6^B

Uno de los factores que está directamente relacionado con estos resultados es la temperatura ambiental. La formación de una corteza superficial dura a medida que se seca la excreta como resultado de la temperatura tanto del suelo como ambiente, ocurre rápidamente y reduce las condiciones para que se libere el gas, resultando en menores valores de metano (Nichols *et al.* 2016).

Por lo anterior, es que la emisión se presenta básicamente durante la primera semana de evaluación para posteriormente situarse en valores basales y cercanos a cero (Yamulki *et al.* 1999).

Factores ambientales como la lluvia contribuyen a la emisión de metano, tal y como se detectó durante la época de transición donde se observó que luego de eventos lluviosos (Figura 2B) se presentan picos de emisión (Figura 4B) probablemente debido a la humedad (Mori y Hojito 2015) que además de incrementar la actividad microbiana, también provocó algún tipo de rotura en la capa externa que hizo posible la liberación del gas.

Por otra parte, se observaron consumos de metano durante la época seca y de transición a lluvias (Figuras 4A y 4E) cuando los valores de EPA eran menores al 20%, lo cual ha sido reportado también por otros investigadores (Nichols *et al.* 2016).

Diferencias en la emisión de metano entre épocas climáticas se relacionan más con la humedad, lluvia en este caso, que con la temperatura la cual fue similar y bastante alta en todas las épocas evaluadas (de 25 a 29°C).

En general, en el caso de las excretas sólidas la emisión de metano se presentó durante la

primera semana en todas las épocas climáticas. Un aspecto interesante es que con la excepción de la emisión observada en el día 1 en la época lluviosa, esta se presenta después de un evento lluvioso importante. Ello se aprecia claramente en esta misma época con la emisión que se presentó en el día cuatro de evaluación (Figura 4 C) que ocurrió luego de un evento de lluvia de más de 15 mm (Figura 2 C).

De igual forma sucedió en la época de transición a la condición seca, donde previo al pico de emisión de metano observado (Figura 4 D) se presentó un evento lluvioso de más de 20 mm (Figura 2 D).

Los dos días previos a esta emisión también había llovido un total de 27 mm, lo cual probablemente favoreció condiciones de gran humedad y anoxia en la excreta y ello contribuyó a la formación y posterior liberación del gas, algo que también ha sido previamente reportado en el trópico por Mazzetto (2014). La influencia de las lluvias en la generación de este gas de la orina no fue significativa.

Esta investigación demuestra que el desarrollo de factores de emisión nacional es de suma importancia ya que permite calcular la emisión de gases con efecto invernadero que se derivan de las excretas de bovinos de acuerdo con las condiciones de nutrición de estos y del manejo de las pasturas. Se evidencia que las condiciones climáticas ejercen influencia significativa en la emisión, y por lo tanto, deben ser consideradas para evitar la sobre o subestimación del factor de emisión dependiendo de cuando se realicen las evaluaciones en el campo.

Por otra parte, es evidente que la utilización del valor sugerido por el IPCC conduce a sobreestimar las emisiones provenientes de las excretas bovinas en Costa Rica, y estos resultados sugieren que, deben ser revisados los cálculos que se efectúan utilizando las directrices del IPCC.

Finalmente, se requiere continuar con este tipo de investigación para corroborar y generar factores de emisión de estas fuentes tanto para el sistema de producción de leche especializado, como también para el doble propósito, ya que además de diferentes manejos se ubican en ambientes y condiciones climáticas diferentes.

LITERATURA CITADA

- Barneze, A; Mazzetto, A; Zani C; Misselbrook, T; Cerri, C. 2014. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. *Atmospheric Environment* 92:394-397.
- Bell, M; Rees, R; Cloy, J; Topp, C; Bagnall, A; Chadwick, R. 2015. Nitrous oxide emissions from cattle excreta applied to a Scottish grassland: Effects of soil and climatic conditions and a nitrification inhibitor. *Science of the Total Environment* 508:343-353.
- Barneze, A; Mazzetto, A; Fernandes, C; Siqueira, M; Cerri, C. 2014. N₂O emission from urine in the soil in the beef production in Southeast Brazil: soil moisture content and temperature effects. *Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-15098*.
- Birch, H. 1959. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10:9-31.
- Borken, W; Matzner, E. 2009. Reappraisal of drying and wetting effects on C and N mineralization and fluxes in soils. *Global Change Biology* 15(4):808-824.
- Byrnes, R; Núñez, J; Arenas, L; Rao, I; Trujillo, C; Alvarez, C; Arango, J; Rasche, F; Chirinda, N. 2017. Biological nitrification inhibition by *Brachiaria* grasses mitigates soil nitrous oxide emissions from bovine urine patches. *Soil Biology & Biochemistry* 107:156-163.
- Davidson, E; Verchot, L; Cattanio, J; Ackerman, I. 2000. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48(1):53-69.
- de Klein, C; Barton, L; Sherlock, R; Li, Z; Littlejohn, R. 2003. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. *Australian Journal of Soil Research* 41:381-399.
- Department of Climate Change and Energy Efficiency, Australia. 2014. Australian National Greenhouse Accounts: National Inventory Report 2012. 39 p.
- Di, H; Cameron, K; Podolyan, A; Robinson, A. 2014. Effect of soil moisture status and a nitrification inhibitor, dicyandiamide, on ammonia oxidizer and denitrifier growth and nitrous oxide emissions in a grassland soil. *Soil Biology and Biochemistry* 73:59-68.
- Di, H; Cameron, K. 2002. The use of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), to decrease nitrate leaching and nitrous oxide emissions in a simulated grazed and irrigated grassland. *Soil Use and Management* 18:395-403.
- Dijkstra, J; Oenema, O; Bannink, A. 2011. Dietary strategies to reducing N excretion from cattle: Implications for methane emissions. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3:414-422.
- DiRienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, C. 2018. InfoStat versión 2018, Grupo InfoStat, FCA. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba.
- Eckard, R; Chen, D; White, R; Chapman, D. 2003. Gaseous nitrogen loss from temperate grass and clover dairy pastures in south eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 54(6):561-570.
- Gao, B; Ju, X; Su, F; Meng, Q; Oenema, O; Christie, P; Chen, X; Zhang, F. 2014. Nitrous oxide and methane emissions from optimized and alternative cereal cropping systems on the North China Plain: a two-year field study. *Science of the Total Environment* 472:112-124.
- González-Avalos, E; Ruiz-Suárez, L. 2001. Methane emission factors from cattle manure in Mexico. *Bioresource Technology* 80:63-71.
- Haynes, R; Williams, P. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49:119-199.
- Hoefl, I; Steude, K; Wrage, N; Veldkamp, E. 2012. Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 151:34-43.
- IPCC. 2006. Guías metodológicas para la preparación de Inventarios Nacionales de gases con efecto invernadero. 265 p.

- Kelliher, F; Cox, N; van der Weerden, T; de Klein, C; Luo, J; Cameron, K; Di, H; Giltrap, D; Rys, G. 2014. Statistical analysis of nitrous oxide emissions factors from pastoral agricultural field trials conducted in New Zealand. *Environmental Pollution Journal* 186:63-66.
- Krol, D; Carolan, R; Minet, E; McGeough, K; Watson, C; Forrester, P; Lanigan, G; Richards, K. 2016. Improving and disaggregating N₂O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. *Science of the Total Environment* 568:327-338.
- Luo, J; Hoogendoorn, C; van der Weerden, T; Saggar, S; de Klein, C; Giltrap, D; Rollo, M; Ry, G. 2013. Nitrous oxide emissions from grazed hill land in New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 181:58-68.
- Luo, J; van der Weerden, T; Hoogendoorn, C; de Klein, C. 2011. Determination of the N₂O emission factor for animal dung applied in spring in three regions of New Zealand. MAF Technical Paper No: 2011/30.
- Mazzeto, A. 2014. Emissao de gases do efeito estufa provenientes da producao de carne no Brasil: de datos experimentais a modelagem matemático. Tesis Ph.D. Sao Paulo, Brasil. University of Sao Paulo. 95 p.
- Mori, A; Hojito, M. 2015. Methane and nitrous oxide emissions due to excreta returns from grazing cattle in Nasu, Japan. *Grassland Science* 61(2):109-120.
- Nichols K; Del Grosso S; Derner J; Follett R; Archibeque S; Stewart C; Paustian H. 2016. Nitrous oxide and methane fluxes from cattle excrement on C3 pasture and C4-dominated shortgrass steppe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 225:104-115.
- NOAA. 2018. <http://www.noaa.gov/climate>
- New Zealand. 2012. New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990-2010. Ministry for the Environment, Wellington, Nueva Zelanda. 408 p.
- Oenema, O; Wrage, N; Velthof, G; van Groenigen, J; Dolfing, J; Kuikman, P. 2005. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72(1):51-65.
- Oenema, O; Velthof, G; Yamulki, S; Jarvis S. 1997. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use Management* 13:288-295.
- Orwin, K; Bertram, J; Clough, T; Condon, L; Sherlock, R; O'Callaghan, M; Ray, J; Baird, D. 2010. Impact of bovine urine deposition on soil microbial activity, biomass, and community structure. *Applied Soil Ecology* 44:89-100.
- Pelster, D; Gisore, B; Koske, J; Goopy, J; Korir, D; Rufino, M; Butterbach-Bahl, K. 2016. Methane and nitrous oxide emissions from cattle excreta on an East African grassland. *Journal of Environmental Quality* 45(5):1531-1539.
- Rochette, P; Chantigny, M; Ziadi, N; Angers, D; Bélanger, G; Charbonneau, É; Pellerin, D; Liang, C; Bertrand, N. 2014. Soil nitrous oxide emissions after deposition of dairy cow excreta in eastern Canada. *Journal of Environmental Quality* 43:829-841.
- Rotz, C. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science* 82(E-Suppl):E119-E137.
- Saggar, S; Jha, N; Deslippe, J; Bolan, N; Luo, J; Giltrap, D; Kim, D; Zaman, M; Tillman, R. 2013. Denitrification and N₂O:N₂ production in temperate grasslands: processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. *Science of the Total Environment* 465:173-195.
- Saggar, S; Luo, J; Kim, D; Jha, N. 2011. Intensification in pastoral farming: impacts on soil attributes and gaseous emissions. *In Soil Health and Climate Change. Soil Biology* (29, 2011, Heidelberg, Alemania). Singh B, Cowie A; Chan K (eds.) Berlin, Alemania. pp. 252-261.
- Schlecht, E; Hiernaux, P; Kadaouré, I; Hülsebusch, C; Mahler, F. 2006. A spatio-temporal analysis of forage availability and grazing and excretion behavior of herded and free grazing cattle, sheep and goats in Western Niger. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113:226-242.
- Sordi, A; Dieckow, J; Bayer, C; Amaral, M; Thiago, J; Acordi, J; Moraes, A. 2014. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 190:94-103.

Sponseller, R. 2007. Precipitation pulses and soil CO₂ flux in a Sonoran Desert ecosystem. *Global Change Biology* 13:426-436.

van der Weerden, T; Luo, J; de Klein, C; Hoogendoorn, C; Littlejohn, R; Rys, G. 2011. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141:426-436.

Williams, P; Haynes, R. 2000. Transformations and plant uptake of urine N and S in long and short-term pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56:109-116.

Yamulki, S; Jarvis, S; Owen P. 1999. Methane emission and uptake from soils as influenced by excreta deposition from grazing animals. *Journal of Environmental Quality* 28:676-682.

PARASITISMO *IN VITRO* DE 23 AISLAMIENTOS DE *TRICHODERMA ASPERELLUM* CONTRA *RHIZOCTONIA SOLANI* Y *FUSARIUM OXYSPORUM*

José Arturo Solórzano Arroyo¹, Cristina Vargas-Chacón¹

RESUMEN

Parasitismo *in vitro* de *Trichoderma asperellum* contra *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*.

El objetivo del estudio fue determinar la actividad antagónica de 23 aislamientos del hongo *Trichoderma asperellum*, sobre los hongos fitopatógenos *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* aislados de plantas de arroz y tomate respectivamente. Se utilizaron 23 aislamientos de *Trichoderma asperellum* y un aislamiento de cada fitopatógeno. Se emplearon placas Petri con medio de cultivo PDA para realizar las pruebas de parasitismo, mediante la técnica de enfrentamientos duales. Para evaluar el nivel de parasitismo se utilizó la escala de Bell. Se realizó un ANDEVA y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un 95% de confianza. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.0001$) entre tratamientos con *Rhizoctonia solani*. Un 17% de los tratamientos de *Trichoderma*, INTA-H-4, INTA-H-5(b), INTA-H-7(b), e INTA-H-35 (b,c) lograron parasitar en pocos días al fitopatógeno, con un valor de 1 en la escala de Bell; otro grupo de aislamientos lograron un parasitismo parcial con valores entre 2 y 3 en la escala. Los aislamientos INTA-H-1(a) e INTA-H-1(b), INTA-H-12(1), INTA-H-12(a) e INTA-H-34(a), que incluyó productos comerciales y recolectados en campo, no mostraron una patogenicidad *in vitro* eficiente contra *R. solani*. No se determinaron diferencias estadísticamente significativas con *F. oxysporum*. Este patógeno logró mantenerse en el medio de cultivo sin que ningún aislamiento de *Trichoderma asperellum* lo parasitara por completo, obteniéndose únicamente grados de parasitismo entre 2,2 y 3.5 en la escala de Bell.

Palabras clave: Antagonismo, porcentaje de inhibición, control biológico, micoparasitismo.

Keywords: Antagonism, percent inhibition, biocontrol, mycoparasitism.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades producidas por organismos fitopatógenos son la principal causa de pérdidas económicas en la producción agrícola (Benitez *et al.* 2004). Algunas son causadas por hongos habitantes de suelo, de amplia diversidad en su forma y modo de ataque a los cultivos. La persistencia

de algunas de estas enfermedades ha aumentado durante los últimos años, debido al uso indiscriminado de plaguicidas y el cambio de prácticas agrícolas, provocada por la generación de resistencia a los agroquímicos (Cruz 2007).

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. asolorzano@inta.go.cr, cvargas@inta.go.cr. Sede del Laboratorio de Servicios de Fitoprotección del INTA. Sabana Sur, San José.

Las especies de *Trichoderma* spp. son probablemente los agentes de control biológico más estudiados para el combate de fitopatógenos del suelo (Harman 2006). Existen numerosas publicaciones donde se describe la acción antagonista de *Trichoderma lignorum*, *T. asperellum*, *T. viride*, *T. harzianum* o *T. koningii* sobre patógenos como *Fusarium oxysporum*, *F. moniliforme*, *Rosellinia bunodes*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici*, *P. parasítica* y *Botrytis cinerea* (Aquino-Martínez, et al. 2008; Sarro et al 2011; Bell et al. 1982; Mora y Solórzano 2003; Guigón-Lopez et al. 2010; Harman, 2006; Harman 2011; Harman y Shores, 2007). El INTA de Costa Rica, ha realizado investigaciones con algunas cepas de *Trichoderma* spp., que han evidenciado su capacidad antagonista contra hongos que causan enfermedades, como la Malla o *Rosellinia bunodes* en el cultivo de Helecho hoja de cuero, utilizando los hongos *Trichoderma lignorum*, *T. pseudokoningii* y *T. viridae* recuperando plantas con 100% de incidencia. La enfermedad conocida como el Mal de talluelo del café (*Rhizoctonia solani*) fue controlada con *Trichoderma harzianum* y *T. viridae*. (Mora y Solórzano 2003; Solórzano, et al. 2004).

El potencial como agente de biocontrol de cepas de *Trichoderma*, se puede determinar en estudios “*in vitro*” para identificar los antagonistas y definir su potencial, antes de efectuar estudios en campo que requieren más tiempo y costo económico (Guigón-Lopez, et al. 2010). La inhibición del crecimiento *in vitro* de hongos patógenos por agentes de control biológico antagonistas se ha descrito ampliamente. La metodología más

habitual es la del enfrentamiento equitativo o dual de ambos microorganismos (Aquino-Martínez et al 2008; Guigón-López y González-González 2004), inoculándose al mismo tiempo o no, generalmente en forma de “plug” o gota y determinándose posteriormente su eficacia. Para medir el parasitismo, se han desarrollado varias técnicas como los grados de parasitismo mediante la escala de Bell (Bell et al 1982), mediante la fórmula de inhibición por competencia de Abbott modificada (Aquino-Martínez et al 2008) o bien mediante pruebas de antibiosis (Arzate et al. 2006).

El estímulo clave para inducir el micoparasitismo en *Trichoderma*, son los productos de degradación de quitina liberados de la pared celular de los fitopatógenos y de moléculas liberadas por el patógeno por la acción de las enzimas del *Trichoderma* degradadoras de la pared celular. Estas moléculas no sólo estimulan el hongo biocontrolador y su actividad antagonista mediante la activación de la expresión génica micoparasítica en cascada, sino que además actúan como inductores del sistema de defensa de las plantas en las células de la planta huésped expuestas o cuando se inyectan a las raíces y hojas (Woo y Lorito 2007).

El objetivo de este estudio fue determinar la actividad antagonista de 23 aislamientos del hongo *Trichoderma asperellum*, sobre los hongos fitopatógenos *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum* aislados de plantas de arroz y tomate respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Servicios de Fitoprotección del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicado en la provincia de San José, Cantón Central, distrito Mata Redonda.

Cultivos de *Trichoderma* y Fitopatógenos

Los aislamientos de *Trichoderma asperellum* y los hongos fitopatógenos fueron cultivados en placas Petri plásticas de 94 X 16 mm con medio de cultivo artificial Papa Dextrosa Agar (PDA), acidificado con ácido láctico al 25% (pH aproximado de 4.0). El ensayo *in vitro* se realizó en placas Petri con las mismas características.

Preparación de los tratamientos

Los hongos utilizados en los tratamientos se obtuvieron de la micoteca del INTA, la cual contiene cepas aisladas del suelo, plantas enfermas o sanas de varias localidades del país, además de productos de origen comercial. A fin de asegurar el mayor potencial antagonista y patogénico de los hongos utilizados, se procedió a revigorizarlos, mediante la exposición a condiciones de competencia.

Para el hongo fitopatógeno *R solani*, se colocó un disco de 5 mm de diámetro de medio de cultivo PDA, conteniendo el hongo sobre hojas de arroz previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% y lavadas con abundante agua para eliminar restos del desinfectante. Las hojas se colocaron dentro de una placa Petri con una toalla húmeda en la base y se dejó que el hongo se desarrollara por 2 semanas. Los esclerocios formados, fueron transferidos a un medio PDA para obtener el hongo revigorizado. Para revigorizar el fitopatógeno *F. oxysporum*, se colocó el hongo en un suelo estéril húmedo durante dos semanas y luego se re-aisló.

Finalmente, los aislamientos de *Trichoderma* spp., se pusieron a competir, mediante la técnica de enfrentamiento dual, con el hongo *Fusarium* sp. y luego de una semana se reaislaron y purificaron. En la técnica de enfrentamiento dual, se colocan discos de PDA con el hongo “antagonista” y el fitopatógeno en los extremos de una placa Petri con PDA acidificado, a una distancia del borde de 15 mm.

En cuadro 1, se indican los microorganismos utilizados en el estudio. Previamente, mediante técnicas moleculares se identificaron los hongos de la especie *Trichoderma* spp.

Cuadro 1. Aislamientos de *Trichoderma asperellum* evaluados y cultivos de hongos fitopatógenos empleados¹. Micoteca del INTA. 2013.

Tratamiento	Descripción	Origen
INTA-H-37	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-1(b)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-7(b)	<i>T. asperellum</i>	Sarapiquí Heredia
INTA-H-5(b)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-4	<i>T. asperellum</i>	Desamparados

Tratamiento	Descripción	Origen
INTA-H-34(a)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H- 2(1)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-12(a)	<i>T. asperellum</i>	Puriscal
INTA-H-2(b)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-6(a)	<i>T. asperellum</i>	Laboratorio INTA
INTA-H-2(c)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-16(2b)	<i>T. asperellum</i>	Cartago
INTA-H-2(a)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-12(1)	<i>T. asperellum</i>	Puriscal
INTA-H-16(2a)	<i>T. asperellum</i>	Cartago
INTA-H-35(b,c)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-6(b)	<i>T. asperellum</i>	Lab. INTA
INTA-H-1(a)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-34(b)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-16(1a,b)	<i>T. asperellum</i>	Cartago
INTA-H-36(b)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
INTA-H-7(a)	<i>T. asperellum</i>	Sarapiquí Heredia
INTA-H-5(a)	<i>T. asperellum</i>	Comercial
Fitopatógeno 1	<i>Rhizoctonia solani</i>	Aislamiento de arroz
Fitopatógeno 2	<i>Fusarium oxysporum</i>	Aislamiento de tomate

Parasitismo según escala de Bell

Para evaluar el parasitismo, se utilizó la técnica de enfrentamiento dual, colocando un disco de 5 mm con medio de cultivo con el hongo “tratamiento”, en uno los extremos, a 15 mm de distancia del borde de un plato Petri con PDA acidificado y en el otro extremo se coloca un disco de igual medida del hongo fitopatógeno. Dado que el fitopatógeno *F. oxysporum* tiene un crecimiento más lento que los *Trichoderma*s, se colocaron los discos con el fitopatógeno en las placas Petri, dos días antes que los tratamientos. El parasitismo se evaluó cualitativamente y se categorizó en 5 grados de antagonismo, acorde con la escala cualitativa desarrollada por Bell, *et al.* 1982, la cual establece cinco clases a saber:

1. *Trichoderma* sobrecrece completamente al patógeno y cubre totalmente la superficie.
2. *Trichoderma* sobrecrece las dos partes de la superficie del medio.
3. *Trichoderma* y el patógeno colonizan cada uno aproximadamente la mitad de la superficie y ningún organismo parece dominar al otro.

4. El patógeno coloniza las dos terceras partes de la superficie del medio y parece resistir a la invasión de *Trichoderma*.
5. El patógeno sobrecrece completamente a *Trichoderma* y ocupa toda la superficie del medio. (Ver Figura 1).

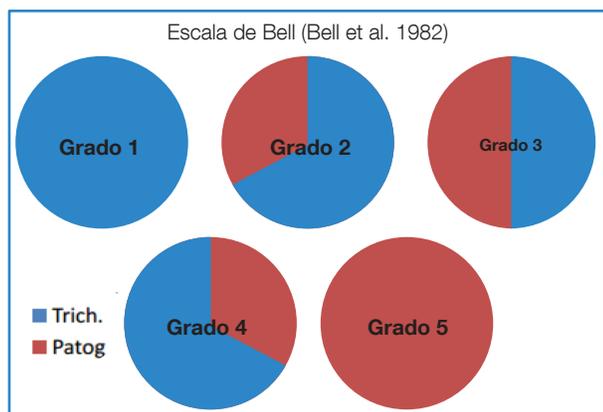


Figura 1. Escala de grados de parasitismo de *Trichoderma* sp sobre un hongo fitopatógeno. Bell *et al.* 1982.

VARIABLES EVALUADAS

La principal variable fue el grado de antagonismo según escala pictórica de Bell. En los casos donde se observaron halos de inhibición durante la revigorización, se midió el halo de inhibición y el crecimiento radial del hongo.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se empleó un diseño completo al azar con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza ANDEVA y una prueba de separación de medias Tukey a $p < 0.05$, mediante el programa SAS (Statistical Analysis System, ver 9.0 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aislamientos de *Trichoderma* mantenidos en aceite y en refrigeración a 4°C se cultivaron en medio PDA acidificado y luego se revigorizaron utilizando los patógenos *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. Fueron necesarias tres revigorizaciones de los aislamientos de *T. asperellum*, dos con *R. solani* y una contra *Fusarium oxysporum*; con lo cual se garantizó el vigor adecuado para su desarrollo y desempeño *in vitro*. Los fitopatógenos estaban recién aislados, así que solo se revigorizaron una vez a fin de garantizar su capacidad metabólica.

A pesar de que todos los *Trichoderma* pertenecen a la misma especie, se observaron diferencias en los crecimientos en cuanto a tonos de verde, crecimiento radial y esporulación, aún después de la revigorización (figura 2). Similares resultados fueron obtenidos por Rodríguez y Wang 2020 con aislamientos de *Trichoderma* que fenotípicamente fueron diferentes, pero genéticamente no se diferenciaron. Por lo tanto, es importante emplear otros marcadores moleculares.

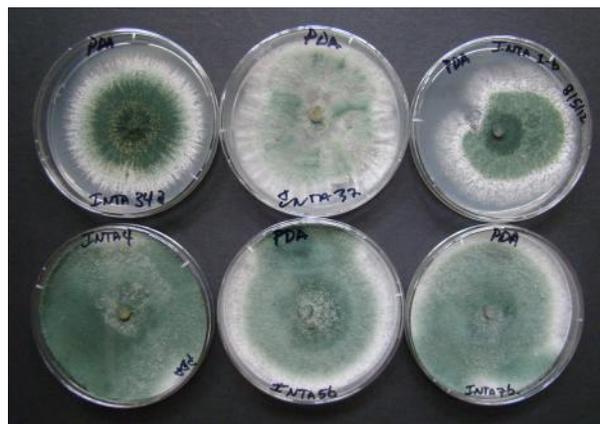


Figura 2. Aislamientos de *T. asperellum* revigorizados. INTA 2013.

En la etapa de revigorización, se observó la formación de halos de antibiosis con *R. solani*, esto por lo general se debe a la presencia de sustancias antibióticas producidas por el hongo, en respuesta al estímulo del antagonismo que tiene con el fitopatógeno. Los aislamientos de *T. asperellum* que produjeron esta respuesta metabólica

(cuadro 2), son promisorios para ser estudiados en la producción y secreción de metabolitos, a fin de identificarlos, caracterizar el mecanismo de acción que hace que estas sustancias impidan el desarrollo de hongos fitopatógenos y determinar un proceso de producción de dichas sustancias para uso agrícola.

Cuadro 2. Halos de inhibición presentados por algunos de los aislamientos de *Trichoderma* de la sobre *R. solani*. INTA 2013.

Aislamiento	Crecimiento radial (cm)	Halo inhibición (mm)
INTA-H-2	4,2 cm	6 mm
INTA-H-4	5.2 cm	10 mm
INTA-H-5	5 cm	8 mm
INTA-H-6	2,8 cm	3 mm
INTA-H-35	4 cm	5 mm
INTA-H-36	4,2 cm	6 mm

En los procesos de antibiosis, se da una secreción de metabolitos secundarios como trichodermina, gliovirina y gliotoxina que inhiben la germinación del fitopatógeno (Arauz 2011). En el año 1993, varios investigadores identificaron, purificaron y caracterizaron varias enzimas que inhibieron la germinación de las esporas y la elongación de las hifas de hongos patógenos en condición *in vitro*; algunas de estas sustancias identificadas son chitobiosidasa y N-acetil-b-D-glucosaminidas inhibitorias de *Botrytis cinerea*, *Fusarium* y *Alternaria* (Lorito et al. 1993).

La etapa de revigorización de los aislamientos de *Trichoderma*, permitió la recuperación de las capacidades antagónicas de los aislamientos y una valoración preliminar de la capacidad de parasitismo de cada uno de los aislamientos. En general, se observó que el grado de antagonismo de los aislamientos de *Trichoderma* fue mayor contra *R. solani* que sobre *F. oxysporum*. En la Figura 3, se observa el crecimiento invasivo de *Trichoderma* sobre los discos de *R. solani*, pero no logra desarrollarse sobre *F. oxysporum*.

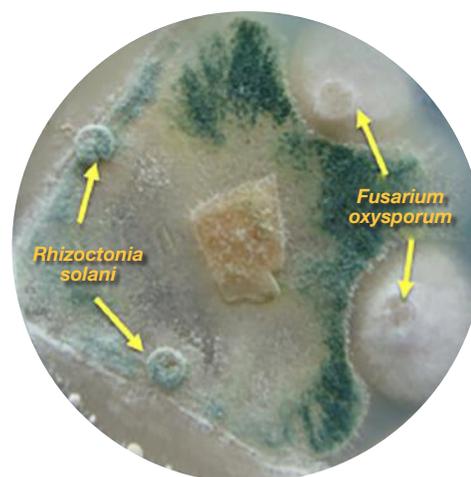


Figura 3. Revigorización *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma* sp sobre *Rhizoctonia solani* y *Fusarium oxysporum*. INTA 2013.

Como se observa en la figura 4, algunos de los aislamientos de *T. asperellum*, desde la etapa de revigorización mostraron un fuerte parasitismo, tal es el caso de INTA 4; mientras que otros aislamientos como el INTA 1B, no mostró parasitismo alguno y el plato Petri con PDA fue rápidamente colonizado por el fitopatógeno.



Figura 4. Antagonismo de *Trichoderma* INTA 4 y 1B sobre *R. solani* en estudios de revigorización. INTA 2013.

La técnica de revigorización de aislamientos resultó ser ventajosa, no solo para activar el metabolismo de los microorganismos, sino para tamizar y seleccionar mediante una técnica *in vitro* económica, simple y rápida, cepas promisorias en el control biológico específico o cepas productoras de sustancia de interés en el manejo de fitopatógenos, en caso de contar con muchos aislamientos.

Mediante la escala de Bell, se estimó el grado de parasitismo por inhibición de crecimiento de *R. solani* con los tratamientos evaluados. Se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.0001$). Los grados de parasitismo fueron variables, siendo algunos muy buenos antagonistas, otros con un parasitismo intermedio (figura 5) y otros no evidenciaron ningún parasitismo y más bien fueron superados por el fitopatógeno.

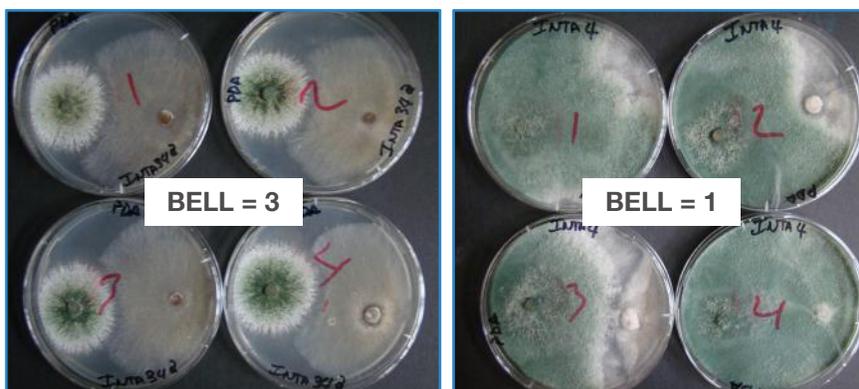


Figura 5. Grado de inhibición *in vitro* de crecimiento de *Rhizoctonia solani* por cepas de *T. asperellum*: INTA 34 a e INTA 4. INTA 2013

Un 56% de los *Trichodermas* presentaron un parasitismo entre los grados 1 y 2 en la escala de Bell. El grupo de tratamientos que mostró el mejor grado de parasitismo (100%) que corresponde al grado 1 en la escala de Bell estuvo conformado por INTA-H-4, INTA-H-5(b), INTA-H-7(b) e INTA-H-35(b, c). Este es el mejor resultado esperado de un controlador biológico, ya que el crecimiento del

antagonista cubrió toda la placa Petri impidiendo el desarrollo del fitopatógeno *R. solani*. Estos cuatro tratamientos no se diferenciaron estadísticamente de otro grupo de *Trichodermas*, INTA-H-6(a), INTA-H-6(b), INTA-H-16(2b), INTA-H-36(b), INTA-H-7(a), INTA-H-2(b), INTA-H-2(c), INTA-H-34(b) e INTA-H-5(a), que obtuvieron valores entre 1 y 2 en la escala de parasitismo de Bell (Figura 6).

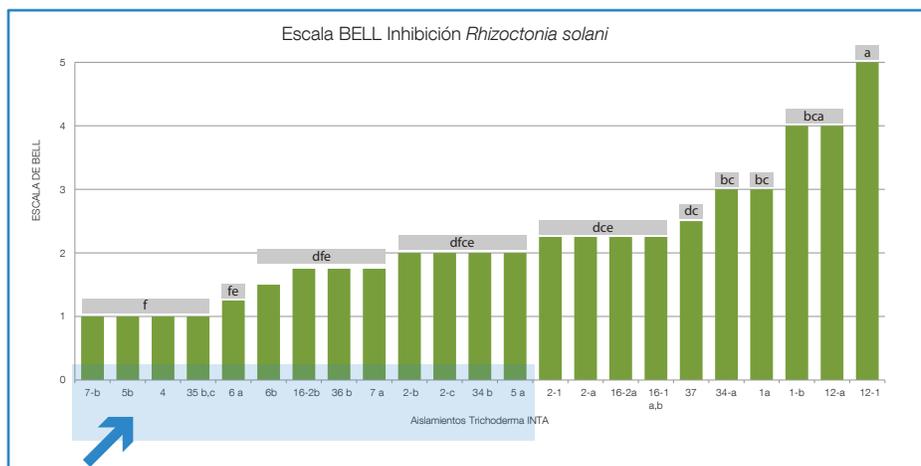


Figura 6. Grado de inhibición de *Rhizoctonia solani* por *Trichoderma* según escala de Bell 1982. INTA 2013.

El tratamiento INTA-H-12(1) no mostró parasitismo alguno, obteniendo un valor de 5 en la escala de Bell, en este caso *R. solani* cubrió toda la placa de Petri. Los tratamientos INTA-H-1(b) e INTA-H-12(a), presentaron valores de grado 4 en la misma escala, con un mínimo grado de inhibición de *R. solani*, resistiéndose el patógeno a ser colonizado. Los tratamientos INTA-H-2(1), INTA-H-2(a), INTA-H-16(2a), INTA-H-16(1a,b), INTA-H-37, INTA-H-34(a) e INTA-H-1(a) presentaron niveles de inhibición entre 2 y 3, siendo significativamente diferentes a los mejores tratamientos para esta misma variable.

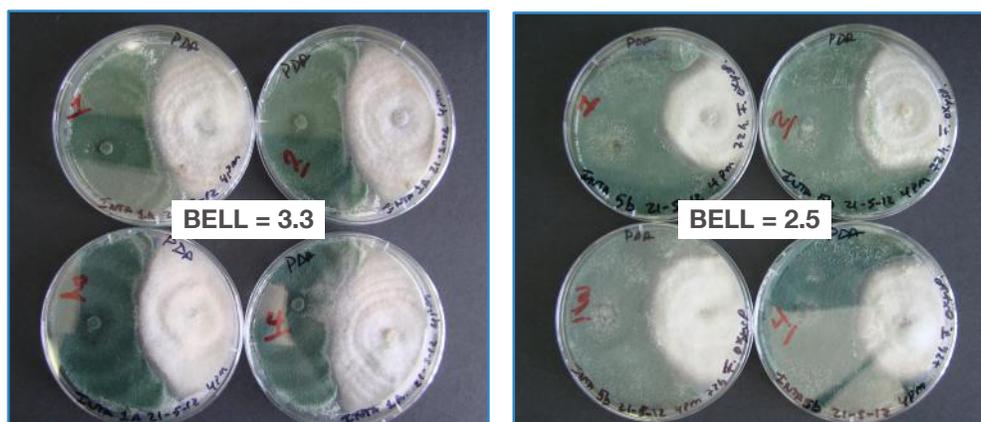


Figura 7. Grado de inhibición de *Fusarium oxysporum* por *Trichoderma* según escala de Bell 1982. INTA 2013.

Similar resultado obtuvo Mahato (2005), el cual determinó la capacidad inhibitoria de *T. viridae* contra *Sclerotium rosfii*, pero no contra *Fusarium solani*. En las investigaciones realizadas por Sarro *et al.* 2011, preparó un medio de cultivo líquido con *Trichoderma lignorum* y a las 24 horas le agregó *F. oxysporum* logrando la inhibición completa del fitopatógeno a todas las concentraciones que utilizó; mientras que cuando incubó previamente a *F.oxysporum* el *Trichoderma* solo inhibió el crecimiento significativamente a concentraciones más bajas (1×10^2 ó 1×10^3 esporas/ml) del fitopatógeno.

Los resultados obtenidos en este estudio y en previos, indican que los estudios de antagonismo con *Fusarium oxysporum* se deben investigar a profundidad, a fin de determinar el mejor momento de aplicación o bien, estudiar las sustancias que producen ambos hongos y que sin duda juegan un papel importante en el combate de este fitopatógeno. Estudios recientes en pruebas *in vitro* por Rodríguez y Wang 2020 empleando una escala de inhibición por el porcentaje de inhibición de

El grado de parasitismo de *F. oxysporum* fue mucho menor que el de *R. solani*. Ninguno de los aislamientos evaluados logró parasitar completamente a *F. oxysporum*. Las valoraciones de escala de Bell para la variable grado de parasitismo no mostró diferencias significativas ($p= 0.2147$). A pesar de que algunos tratamientos presentaron en repeticiones grados entre 4 y 2, en promedio, todos los tratamientos oscilaron entre 2.5 y 3.3 (figura 7). El hongo fitopatógeno *F. oxysporum*, presentó en casi todos los tratamientos un fuerte halo de inhibición, particular de este hongo que produce ácido fusárico que actúa en forma de fitotoxina en medio de cultivo.

crecimiento radial (PICR) con la fórmula utilizada por Ezziyani *et al.* (2004) obtuvieron parasitismo sobre *F. oxysporum* con cepas de *T. asperellum*, *T. asperelloides* y *T. guizhouense* con valores cercanos entre 52 y 70% lo cual equivale a unos valores entre 3 y 4 de la escala de Bell. Los resultados contradictorios en la inhibición de *F. oxysporum* ha sido planteada por Ploetz (2004) y depende de la eficiencia de los ensayos *in vitro* o invernadero bajo condiciones controladas y por lo tanto no se puede generalizar para todos las cepas de *Trichoderma*.

Finalmente es importante recalcar que los aislamientos INTA-H-4, INTA-H-5(b), INTA-H-7(b) e INTA-H-35(b, c) presentaron el mejor parasitismo contra *Rhizoctonia solani* y de estos, INTA-H-4 e INTA-H-5(b) presentaron los mayores halos de inhibición, lo que los hace ser potencialmente útiles en el manejo de éste fitopatógeno el cual afecta varios cultivos de importancia agrícola como el arroz, la papa, el café y el chile dulce entre otros.

La eficacia biológica de diferentes aislamientos de *T. asperellum*, va más allá de la especie por lo que se debe tener especial cuidado al seleccionar este antagonista, ya que demostraron que su antagonismo es variable. Además, se deben hacer

más estudios para el control biológico de hongo *Fusarium oxysporum*, un patógeno importante por su amplia distribución, por su gama de hospederos de importancia agrícola y que produce metabolitos que lo hacen altamente resistente.

LITERATURA CITADA

Aquino-Martínez, JG; Vázquez-García, LM; Reyes-Reyes, BG. 2008. Biocontrol *in vitro* e *in vivo* de *Fusarium oxysporum* Schlecht.f. sp. Dianthi (Prill. Y Delacr.) Snyder y Hans con hongos antagonistas nativos de la zona florícola de villa Guerrero. Revista Mexicana de Fitopatología 26(2):127-137.

Arauz, LF. 2011. Fitopatología un enfoque agroecológico. 2 ed. Editorial UCR, UCR (Universidad de Costa Rica), San José Costa Rica. 400 p.

Arzate, J; Aceves-Michel, A; Domínguez, VM; Santos, O. 2006. Antagonismo de *Trichoderma* spp. sobre *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de Sigatoka Negra del plátano (*Musa* sp.) *in vitro* e invernadero. Revista Mexicana de Fitopatología. México. 24(2):98-104.

Bell, DK; Wells, HD; Markham, CR. 1982. *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. Phytopathology Vol 72(4): 379-382.

Benitez, T; Rincón, A; Limón, M; Codón, A. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. International Microbiology 7(4):249-260.

Cruz M, LC. 2007. Estandarización del proceso de producción masiva del hongo *Trichoderma koningii* Th003 mediante fermentación bifásica a escala piloto (en línea). Tesis Lic. Bogotá, Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Consultado 08 abril. 2020.. Disponible en <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis23.pdf>

Ezziyani, M; Pérez, S; Requena, M; Rubio, L; Candela, M. 2004. Biocontrol por *Streptomyces rochei* -Ziyani-, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. Ann. de Biol. 26:69-78.

Harman, GE. 2006. Overview of Mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology 78:190-194

Harman, GE. 2011. *Trichoderma* – not just for biocontrol anymore. Phytoparasitica 39:103-108.

Harman, GE; Shoresh, M. 2007. The mechanisms and applications of symbiotic opportunistic plant symbionts. In Vurro, M; Gressel, J (eds.) Novel biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management. Dordrecht, the Netherlands: Springer. p. 131-155.

Mahato, U, 2005. Characterization of native isolates of *Trichoderma* spp. and cloning of endochitinase gene. Tesis Mag. Sc. Ciudad, País. University of Agricultural Sciences, Dharwad. 82 p.

Lorito, M; Harman, GE; Hayes, CK; Broadway, RM; Troncoso, T; Woo, SL; Di Pietro, A. 1993. Chitinolytic enzymes produced by *Trichoderma harzianum*: antifungal activity of purified endochitinase and chitobiase. Phytopathology 83:302-307

Guigón-López C; Guerrero-Prieto, V; Vargas-Albores, F; Carvajal-Milán, E; Ávila-Quesada, G; Bravo-Luna, L; Ruocco, M; Lanzuine, S; Woo, S; Lorito, M. 2010. Identificación molecular de cepas nativas de *Trichoderma* spp. Su tasa de crecimiento *in vitro* y antagonismo contra hongos fitopatógenos. Revista Mexicana de Fitopatología 28(2):32-39.

Guigón-López, C; González-González, PA. 2004. Selección de cepas nativas de *Trichoderma* spp. con actividad antagónica sobre *Phytophthora capsici* Leonian y promotoras de crecimiento en el cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 22:117-124.

Mora, B. Solórzano, JA., 2003. Control biológico de *Rosellinia bunodes*. En helecho hoja de cuero *Rhumora adiantiformis* con el hongo *Trichoderma lignorum*. Memorias V Congreso Nacional de Fitopatología. San José Costa Rica. 215 p.

Ploetz, R. 2004. *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytopathology* 96:653-656.

Rodríguez-García, D; Wang-Wong, A. 2020. Efectividad a nivel *in vitro* *Trichoderma* spp. Nativos e importados contra *Fusarium oxysporum*. *Agronomía Costarricense* 44(2): 109-125.

Sarro, A; Lara, JM; Fernández, C. 2011. Evaluación *in vitro* de la capacidad antagonista de *Trichoderma lignorum* FEEP TL06001 frente a *Fusarium oxysporum* f.so. lycopersici. *Phytoma* 225:47-50.

SAS. 2005. Statistical Analysis System version 8. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Solórzano, JA; Mora, B; Bravo, O. 2004. Experiencias en el control biológico de enfermedades de suelo en helecho hoja de cuero, piña y café con el hongo *Trichoderma* spp. *In* Costa Rica. Memorias IV encuentro Nacional de agricultores experimentadores e investigadores en producción orgánica (5, 2004, Turrialba, Costa Rica). FIDA, RUTA, CATIE, FAO. Memoria. Turrialba, Costa Rica. CATIE p. 120.

Woo, SL.; Lorito, M. 2007. Exploiting the interactions between fungal antagonists, pathogens and the plant for biocontrol. *In* Vurro, M; Gressel, J (eds.). Novel biotechnologies for biocontrol agent enhancement and management. Dordrecht, the Netherlands: Springer. p. 107-130.

NOTA TÉCNICA

EFFECTO DEL CLIMA EN ANIMALES PASTOREANDO CAYMAN EN EL TRÓPICO MUY HÚMEDO DE COSTA RICA

Moisés Hernández-Chaves¹, Sergio Abarca-Monge¹, Roberto Soto-Blanco¹

RESUMEN

Efecto del clima en animales pastoreando Cayman en el trópico muy húmedo de Costa Rica. La respuesta animal al pastoreo se atribuye a la oferta y a la calidad de los forrajes ofrecidos durante la época seca y lluviosa. No obstante, el comportamiento animal ante las diferentes condiciones climáticas, durante su crecimiento como: temperatura, humedad, precipitación, viento, y sus interacciones, no se han tomado en cuenta. El objetivo principal fue el estudio de un sistema de manejo de pasturas denominado “Pastoreo Racional Voisin (PRV)” tomándose en cuenta las épocas de clima en relación al crecimiento de los forrajes y la respuesta animal. El PRV se ha convertido en una herramienta que comprenden bien los ganaderos costarricenses. Se utilizaron para las mediciones de las ganancias diarias de peso cinco grupos de machos de engorde entre octubre 2014 y diciembre 2018. El pasto Cayman (*Brachiaria* híbrido) mantuvo una buena cobertura, aunque de forma paulatina, algunas áreas en particular del sistema de producción, fueron invadidas por el pasto Ratana (*Ischaemum ciliare*) y otras arvenses de hoja ancha. La presencia de Cayman y Ratana fue diferente entre los apartos. En cuanto a los rendimientos de estos pastos en términos de Materia Seca (MS), incrementaron con los años y variaron significativamente entre las épocas con más lluvia y la de menor lluvia (época seca); no obstante, la oferta de forraje siempre fue alta. La ganancia diaria de peso (GDP) fue diferente según la época del año independientemente de la oferta de forraje, el índice de carga de calor promedio fue de 82,3 el cual se ubicó en el rango de caliente.

Palabras clave: Ganancia Diaria de Peso, Pasto Cayman, Pastoreo Racional Voisin, Brahman.

Keywords: Daily weight gain, Cayman Grass, Rational Voisin Grazing, Brahman.

INTRODUCCIÓN

Normalmente en condiciones tropicales la variación en el crecimiento de animales exclusivamente en pastoreo, se atribuye básicamente a la oferta y calidad de los forrajes que consumen en la época de menor y mayor precipitación del sitio. No obstante, el comportamiento animal ante las diferentes épocas del año, constituidas como tales

al conglomerar otras variables climáticas como temperatura, humedad relativa, precipitación y viento, no se han tomado en cuenta. Además, los ensayos de corta duración y pocos animales en condiciones controladas se distancian de la realidad vivida por los productores del trópico muy húmedo.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. mhernandez@inta.go.cr, sabarca@inta.go.cr, rsoto@inta.go.cr

Por otra parte, en los meta-análisis de comparación entre el pastoreo continuo y el pastoreo rotacional (por apartos pequeños), no se observa evidencia que indique que uno es mejor que otro (Briske *et al.* 2008; Bailey y Brown 2011). Tampoco, que es posible que un sistema de *pastoreo holístico*² en zonas templadas genere un alto secuestro de Carbono (Briske *et al.* 2013). Sin embargo, los datos que prevalecen son de investigaciones realizadas fuera de la faja tropical, donde en algunos casos se pueden confundir las áreas áridas subtropicales con las tropicales secas. Mientras que otros autores consideran que el pastoreo holístico ordenado en parcelas puede ser una solución para una ganadería racional hasta en las regiones templadas de Estados Unidos (Carter *et al.* 2014).

No obstante, hay diferencias en los ecosistemas naturales de América (Cuadro 1) resumidas por Malhi *et al.* (1999) para los bosques de los

tres principales macro climas del continente, que sugieren que las coberturas vegetales de los pastizales también pueden ser diferentes. Las regiones tropicales están limitadas por los Trópicos de Cáncer y Capricornio, 23° 26" altitud Norte y Sur respectivamente. Costa Rica está en el trópico, pues se encuentra entre los paralelos 11° y 8° latitud norte, y aunque su vegetación original es boscosa (Holdridge 1978). Después de la colonización, las áreas dedicadas al pastoreo de las regiones húmedas, bajas y calientes (Veldkamp 1994) presentan características ecológicas similares al sur del Sahel africano, Los Llanos Orientales Colombianos y El cerrado de Brasil (Dixon *et al.* 2014). En estas regiones tropicales los pastos en su mayoría son de metabolismo fotosintéticos tipo C4, con tasas de asimilación del CO₂ y crecimiento, mayores que los tipos C3 (Gifford 1974). La degradación ruminal también es diferente debido al tipo de tejidos que componen sus estructuras anatómicas (Akin y Burdick 1975).

Cuadro 1. Diferencias entre bosques de tres latitudes de América.

Localización	Boreal	Templado	Tropical
Coordenadas	53°59' N, 105°7' W	35°57' N, 84°17' W	2°35' S, 50°06' W
Ciudad cercana	Prince Albert, Canadá	Oak Ridge, USA	Manaus, Brazil
Tipo de bosque	Coníferas siempre verdes	Hoja ancha caducifolia invierno	Hoja perenne
Principales especies	<i>Picea mariana</i> (Black spruce)	<i>Quercus alba</i> , <i>Quercus pinus</i> , >200 especies/hectárea	>200 especies/hectárea
Retención de carbono			
En vegetación (t ha ⁻¹)	64	57	121
En suelo (t ha ⁻¹)	343	96	123
Propiedades del bosque			
Max. índice de área foliar	3,3	4,9	5,6
Altura de copa (m)	9	26	30
Área basal (m ² ha ⁻¹)	31,5	20,1	30,0
Biomasa sobre el suelo (Mg ha ⁻¹)	50-60	155-170	330-370
Clima			
Temperatura prom. Verano (°C)	17	23	27 (estación seca)
Temperatura prom. Invierno (°C)	-20	5	24 (estación húmeda)
Precipitación (mm/año)	400	1400	2200
Días de crecimiento en el año	100	180	365
Periodo de captura de CO ₂	Mitad abril a principios de octubre	Mitad abril a mitad de octubre	Todo el año
Época seca	Sin periodo seco	Mitad junio a finales agosto	Mitad junio a finales octubre

Fuente: Malhi *et al.* (1999)

2 Manejo del ganado en periodos cortos de pastoreo, que se hace sobre un terreno para revertir los procesos de degradación y desertificación del suelo, a la vez que se genera una actividad económica. Savory 1983.

El Pastoreo Racional Voisin (PRV) además de ser uno de los métodos que más se ajusta a las condiciones tropicales, porque promueve el reciclaje de nutrientes y la acción biológica de procesos intensos para mantener una productividad primaria sostenible, mejora el aprovechamiento del forraje, utiliza periodos cortos de pastoreo, no permite una desmejora prolongada del forraje disponible, evita el consumo del rebrote tierno (Sánchez *et al.* 1997, Senra *et al.* 2005).

Técnicamente el periodo de descanso, rebrote o reposo, se define con el tiempo que se da a la pastura entre dos pastoreos consecutivos (Allen *et al.* 2011). De acuerdo con Blaser (1990) este periodo debe ser lo suficientemente prolongado para que las plantas recuperen la totalidad de sus reservas radicales y el follaje, a lo cual se le denomina, la primera ley del PRV. Incluye dos conceptos adicionales a las técnicas del pastoreo rotacional a tiempo fijo: 1.- puede variar con la época del año y otros factores ambientales y 2.- debe esperar la “llamarada de crecimiento” (Sorio 2012). En términos prácticos para el punto 1, aunque hay normalmente una dirección de giro (rotación), algunos apartos se pueden “brincar” por unos días y luego “retroceder” en el giro para pastorearlos cuando estén a punto de pastoreo (Sorio 2012). En otros casos, se pueden brincar del todo el giro, pero el forraje debe ser cosechado a mano o mecánicamente (Rúa 2014).

El periodo de pastoreo se define como el tiempo transcurrido desde que los animales ingresan al apto hasta que salen. En un esquema de PRV, este tiempo debe ser lo suficientemente corto para que el animal no pastoree una misma planta dos veces. De acuerdo con Sorio (2012), este tiempo no debe exceder un día de pastoreo, mientras que Rúa (2014) considera que puede extenderse hasta por tres días, lo cual se constituye en la segunda ley del PRV. De acuerdo con esta ley, este manejo causa el menor daño a las estructuras de reserva de la pastura, evita la reducción del consumo y deterioro de calidad del forraje. Esto impide que los animales consuman el rebrote que generalmente para las condiciones de Costa Rica sucede después del cuarto día en especies del género *Brachiaria*. (Orozco 2016). Esta condición permite optimizar y mantener la respuesta productiva del ganado, debido a un consumo y calidad estable del pasto.

De acuerdo con Allen *et al.* (2011) la asignación de forrajes, se define como la cantidad de biomasa comestible ofrecida en un apto, dividida entre las unidades animal por día que se introducirán para consumirla, esta normalmente se expresa en términos de Kg MS/UA/día. A esta medición en términos del PRV se le denomina *aforo* y se debe realizar en la finca por lo menos seis veces al año, con muestras tanto en la época lluviosa, como en la seca o menos lluviosa, de acuerdo con la zona de vida.

La tercera ley del PRV indica que hay que ayudar a los animales de exigencias alimenticias más elevadas para que consuman la mayor cantidad de forraje y de buena calidad, concordando con lo que indica Van Soest (1994), aspecto que se debe agregar al concepto agrostológico clásico de asignación de forraje.

Aunque el consumo a nivel práctico en finca es un concepto complejo, se puede indicar como la *proporción desaparecida* (consumida) del forraje ofrecido a los animales en un pastoreo (Mott 1960). Normalmente se mide mediante la diferencia entre la cantidad de forraje ofrecido antes del pastoreo y el remanente después del pastoreo (Allen *et al.* 2011). Bajo el enfoque PRV, se utilizan altas presiones de pastoreo (baja asignación de forraje). A estos pastoreos intensos se les denomina (en el lenguaje del PRV) pastoreos profundos (Rúa 2014). En el PRV la presión de pastoreo óptima (Mott 1960) más que la búsqueda de punto teórico donde se obtiene la mejor productividad por la relación carga animal y ganancia de peso, se basa en el manejo práctico observando las particularidades de cada finca, relacionando la oferta de forraje en un momento dado con un objetivo de producción o respuesta de los animales (Hodgson 1989). El periodo de ocupación o de estancia de los animales en un área definida de acuerdo con la definición de Allen *et al.* (2011) constituye la segunda ley del PRV. En el trópico húmedo de Costa Rica, en investigaciones pasadas de respuesta animal, se han notado incrementos de rendimientos con pastoreos cortos (Rocha 1978; Ibrahim 1994; Hernández *et al.* 1995; Hernández *et al.* 2014). El PRV basa su cuarta ley del PRV en los rendimientos regulares de acuerdo con Sorio (2012), en periodos muy cortos pero intensos de pastoreo, indicando que entre más días de pastoreo menor será la eficiencia de conversión

del alimento a producción (leche o carne), donde a mayores necesidades fisiológicas de los animales la eficiencia de pastoreo debe ser menor permitiendo eficiencias bajas de hasta un 40%. Sin embargo, Rúa (2014) considera que, en regiones tropicales de mesoamericanas, una alta eficiencia del pastoreo (de hasta 80%) es primordial para mantener contenidos bajos de lignina y materia seca muerta.

Por otra parte, el nivel de estrés calórico es una forma de medir el efecto en la producción animal producido por la variabilidad climática. En Costa Rica se ha observado que la producción de leche y el bienestar del ganado lechero son afectados cuando el animal sale de su zona de confort (Ruiz Jaramillo et al 2019). Una forma de cuantificar los niveles de estrés ha sido mediante el uso de índices bioclimáticos tales como el Índice de

Temperatura y Humedad (ITH) de Thom, (1959). Este índice se utiliza para indicar la falta de confort causada por los efectos combinados de la temperatura y la humedad del aire (Armstrong, 1994). No obstante, otro índice derivado del ITH, para ambientes calientes, pero no húmedos, denominado Índice de Carga de Calor (ICC) (Gaughan et al, 2008) considera además elementos como la temperatura de globo negro (variante que incluye la radiación) y la velocidad del viento, por lo que se considera una mejor opción para las regiones tropicales.

El estudio tuvo como objetivo evaluar un sistema de manejo de pasturas denominado "Pastoreo Racional Voisin (PRV)" tomándose en cuenta las épocas de clima en relación no solo con el crecimiento de los forrajes, sino con la respuesta animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el área de ganadería de la Estación Experimental Los Diamantes (EELD), ubicada en Guápiles, cantón de Pococí, provincia de Limón. La zona de vida de acuerdo con la clasificación de Holdridge (1978) corresponde a Bosque Muy Húmedo Tropical con promedios históricos para la precipitación anual de 4332 mm y temperatura diaria promedio de 24,6 °C.

Determinación de épocas climatológicas

Con los registros de la Estación Experimental, se establecieron cuatro épocas o periodos de clima de acuerdo con la percepción de los ganaderos en relación con la nubosidad y forma de llover en la zona del Caribe Norte (Cuadro 2).

Cuadro 2. Descripción de la percepción de épocas de lluvia y nubosidad en la zona Caribe Norte de Costa Rica. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Época	Nubosidad	Forma de lluvia
Seca	Poco nuboso	Poca lluvia
Lluviosa	Nuboso	Aguaceros fuertes
Poco Lluviosa	Menos nuboso	Lluvia moderada
Temporal	Muy nuboso	Lluvia persistente de baja intensidad

Con los valores de precipitación, evapotranspiración, temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento durante el periodo de la investigación, se realizó un análisis de varianza multivariado por medio del cual se determinó que efectivamente las épocas fueron diferentes para el periodo de estudio (Cuadro 3). Las épocas también de clasificaron de acuerdo al periodo ENOS que se presentó.

Cuadro 3. Variables utilizadas para determinar diferencias entre épocas de clima. Periodo 2014-2018. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Época	Periodo	Días		Precip.	Evpt	Temperatura Diaria (°C)			Humedad Relativa (%)			Radiación Solar	Velocidad Viento (Km/h)	
		Por Época	De Lluvia			mm/día	Max.	Min.	Promedio.	Max.	Min.		Promedio.	Max.
Lluviosa	15 may - 31 ago	108	62,5	18	4,2	31,1	22,8	25,9	100	72,9	93,8	1199	1,25	0,22
Poco lluviosa	1 ^{er} set-15 oct	45	18,3	8	4,2	32,1	22,4	26,1	100	67,6	91,7	1300	1,33	0,25
Temporal	16 oct - 14 feb	123	62,5	12	4,0	30,3	21,3	24,8	100	69,6	92,2	1169	1,32	0,22
Seca	15 feb-14 may	89	25,8	6	4,1	31,3	21,3	25,5	100	64,5	89,3	1495	1,41	0,31

Épocas son diferentes ($p > 0,05$). Prueba de Helling con nivel corregido por Bonferroni.

Pastura

El área seleccionada fue de 4,35 ha sembradas en el año 2012 con semilla certificada proveniente de México de *B. híbrido cv Caymán*[®] (Semillas Papalotla CR). La siembra se realizó al voleo, a razón de 7 a 8 kg/ha con una adecuada densidad para reducir pérdidas por lavado de semilla debido a las altas precipitaciones de la zona. En 2014, la pastura se dividió en 21 apartos (parcelas de pastoreo), de los cuales 14 tuvieron dos días de ocupación y los restantes siete apartos, tuvieron tres días de ocupación respectivamente; para un promedio ponderado por apartado de 2,4 días de pastoreo. El periodo máximo de reposo (rebrote) fue de 46 días. El pastoreo se realizó de la siguiente forma: durante la semana “lunes a jueves” se utilizaron los apartos de dos días, de viernes a domingo se utilizarán los apartos de tres días.

Manejo del pastoreo y los animales

Se pastorearon cinco grupos de animales todos machos, los primeros cuatro de la raza Brahman, el último un cruce entre Brahman x Simbrah. En el Cuadro 4 se presentan los datos para cada grupo.

Cuadro 4. Grupos de animales y sus características sometidos al PRV en pasto Cayman. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Grupo	Fecha de Ingreso	Fecha de Salida	Edad al ingreso	Cantidad	Evaluación	Peso inicial	Peso final
			(Meses)	(Animales)	(Días)	(kg PV)	
1	25 feb 2015	9 set 2015	19,5	12	299	300 (26)	508 (27)
2	14 oct 2015	15 dic 2016	17,5	10	428	432 (46)	575 (35)
3	16 mar 2017	18 oct 2017	22,5	15	216	376 (18)	475 (28)
4	18 oct 2017	5 ene 2018	26,2	12	79	334 (20)	460 (45)
5	5 mar 2018	21 ene 2109	20,7	12	322	358 (25)	452 (41)

() Desviación estándar

En los lapsos de tiempo entre la salida y el ingreso de los grupos de animales para medición, cuando los hubo, las pasturas fueron pastoreadas por vacas a una carga aproximada de 2,0 UA/ha mientras se asignaba el nuevo grupo de machos. Los animales de los grupos de medición se pesaron individualmente, aproximadamente cada 30 días para obtener el incremento de peso. De acuerdo al manejo de los lotes de animales de engorde en la zona; la carga animal se incrementó a medida que aumentó el peso de los animales, hasta alcanzar el peso de mercado (450 a 500 kg PV). El segundo grupo superó este peso, al estar en una evaluación de emisión de metano entérico (Soto y Abarca, 2018).

Disponibilidad forrajera y la composición botánica

Se estimó la disponibilidad de forrajes cada dos ciclos de pastoreo previo al ingreso de los animales, mediante el método de rango en peso seco propuesto por Haydock y Shaw (1975) es decir; seleccionando tres puntos representativos de la pastura a evaluar de 1 al 3, donde 1 representó el punto de menor y el 3 el de mayor disponibilidad de forraje. Los observadores calibraron su visión con estos puntos de referencia para realizar las muestras visuales. Para esto se utilizó un marco de 0.25 m² y se realizaron 30 visuales por apartado. Luego los puntos se cosecharon y se llevaron a peso seco constante, estimando la producción por punto para luego con los valores visuales se estimó la producción de forraje en base seca por regresión. La composición botánica se determinó cada cuatro ciclos de pastoreo, mediante el método del rango de peso seco propuesto por Mannetje y Haydock (1963). Para esto se utilizó un marco de 0.25 m² y se realizaron 30 visuales por parcela, utilizando los mismos puntos de muestreo para la estimación de disponibilidad forrajera. El observador estimó cuál de las especies ocupó el primer, segundo y tercer lugar en términos de peso seco.

Índice de carga de calor

A partir de los datos promedio diarios de temperatura y radiación se calculó la temperatura globo negro (T_{GN}) de acuerdo con Turco et al (2014).

$$TGN = (1,36 \times T_{aire}) - 2,358 \times (0,075 \times \ln(R)) - 0,562$$

Donde:

$$T_{GN} = \text{Temperatura globo negro } (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{aire} = \text{Temperatura del aire a la sombra } (^{\circ}\text{C})$$

$$R = \text{Radiación solar (w/s)}$$

Posteriormente se realizó el cálculo del ICC de acuerdo con la ecuación de (Gaughan et al 2008) para temperaturas globo negro mayores a 25°C, mediante la siguiente fórmula:

$$ICC = 8,62 + (0,38 \times HR) + (1,55 \times T_{GN}) - (0,5 \times VV - 2) + (e^{2,4 \times VV})$$

Donde:

$$ICC = \text{Índice de carga de calor}$$

$$HR = \text{Humedad Relativa}$$

$$T_{GN} = \text{Temperatura Globo Negro } ^{\circ}\text{C (Temp aire} * 0,942)$$

$$VV = \text{Velocidad del Viento}$$

Fases ENOS asociadas a grupos de pastoreo

Las fases del fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENOS por sus siglas en inglés) se dan en forma fortuita (IMN, 2019). Por lo tanto, aunque las fases se generan al azar, no presentan una frecuencia sistemática, tampoco presenta fechas definidas de ingreso y salida, además durante el ingreso y la salida de las fases se presentan lapsos de transición que no permiten indicar fechas de corte en forma clara. Así mismo, la severidad de las fases El Niño y La Niña varían entre años. No obstante, generan variaciones de clima que afectan la producción bovina en pastoreo (MIDEPLAN, 2019). Con las consideraciones anteriores y dado que hubo animales en las tres fases ENOS. Sin embargo, no todas las fases ENOS tuvieron todas las **épocas de clima con animales en evaluación (cuadro 5)**. Para la inferencia de épocas dentro de fases ENOS se utilizó la prueba de T de student basada en dos muestras. Mientras en forma independiente, las diferencias entre fases ENOS se realizaron a través de análisis de varianza y la diferencia de medias se detectó por la prueba de Tukey.

Cuadro 5. Relación entre épocas del año y fases ENOS para los Grupos de animales en PRV con pasto Cayman. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

ENOS	El Niño		La Niña		Neutro	
Época	n	Grupos	n	Grupos	n	Grupos
Temporal	54	1 y 2	58	2, 4 y 5	24	1 y 4
Seco	32	1 y 2	10	5	49	1, 3 y 5
Lluviosa	24	1	0	0	120	2, 3 y 5
P. Lluviosa	24	1	10	2	36	2, 3 y 5

n=cantidad de datos individuales de ganancia diaria de peso (GDP)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición botánica y rendimiento

No se observaron efectos significativos para la interacción año*época para ninguna de las variables agronómicas. Los diferentes tipos de plantas que compusieron las pasturas tampoco presentaron diferencias con respecto a la época del año. Se observaron diferencias entre años para la presencia de pastos Cayman, Ratana y otras hojas anchas diferentes a leguminosas. El rendimiento presentó diferencias entre años y entre épocas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Composición botánica y rendimiento del híbrido Cayman en PRV en el trópico muy húmedo de Costa Rica. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2015 - diciembre 2018).

Años	2015	2016	2017	2018
Composición Botánica	%			
Cayman	90,1a	90,8a	86,9ab	78,3b
Ratana	4,2a	5,3a	7,7a	15,9b
Otras Gramíneas	0,8a	0,2a	0,3a	0,7a
Leguminosas	1,5a	3,1a	3,3a	3,2a
Otras Hojas anchas	0,2a	0,1a	0,4a	1,1b
Ciperáceas	2,7a	1,2a	1,4a	0,84a
Año	Kg /ha/ciclo de pastoreo			
Materia Seca a 42 días	3814,4a	5814b	6715,9b	6500,9b
Época	Lluviosa	Poco lluviosa	Temporal	Seca
Materia Seca a 42 días	6613,9a	5913,3 ab	5707,7ab	4181,1b

Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El pasto Cayman mantuvo una buena cobertura, aunque paulatinamente, algunas áreas específicas de las pasturas fueron invadidas por el pasto Ratana y otras hojas anchas. La presencia de Cayman y Ratana fue diferente entre apartos pequeños y grandes (Cuadro 7), lo que sugiere que el Cayman perdió presencia más por un aspecto de manejo propiamente, que por competencia inter-específica. Posiblemente, en forma proporcional en los apartos pequeños, las áreas de abrevadero, saladeros y sitios de sesteo de los animales sufrieron más pisoteo, encharcamiento y volcamiento.

Cuadro 7. Presencia Cayman y Ratana en dos diferentes tamaños de apartos con PRV en el trópico muy húmedo de Costa Rica. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Especie	Aparto	Presencia (%)
Cayman	Pequeño	83,0 a
	Grande	91,0 b
Ratana	Pequeño	10,7 a
	Grande	5,0 b

Medias con una letra común en la misma especie no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

No obstante, a lo anterior, no se observaron diferencias estadísticas en el rendimiento de la pastura en relación con el tamaño del apartado, aunque hubo una leve tendencia de 3,7% en favor de la parcela grande. En términos generales, los

rendimientos de MS se incrementaron paulatinamente con los años y aunque estos variaron significativamente entre las épocas lluviosas y secas, la oferta de forraje siempre fue suficientemente alta durante todo el año, en comparación con los datos de otras investigaciones realizadas en años anteriores en Guápiles con *Brachiaria brizantha* (Ibrahim 1994, Hernández *et al.* 1995).

Consumo y valor nutritivo

La estimación del consumo voluntario de materia seca arrojó un valor de $2,43 \pm 0,45$ % PV. La digestibilidad *in situ* en octubre de 2016 (periodo de temporal) presentó un promedio de $60,7 \pm 3,7$ % mientras en abril de 2017 (periodo seco) fue de $61,8 \pm 4,1$ % ambos valores a las 48 horas y considerados adecuados.

Cuadro 8. Calidad nutritiva de pasto del híbrido Cayman en PRV en el trópico muy húmedo de Costa Rica. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Época	PC	FDN	FDA	Lignina	Cenizas
	%				
Lluviosa	6,3 a	64,0 a	31,3 a	2,8 bc	10,6 b
Poco Lluviosa	7,4 a	63,1 a	41,8 b	5,3 a	12,6 a
Seca	7,3 a	62,4 a	38,0 ab	2,5 c	11,6 ab
Temporal	6,5 a	66,8 a	37,3 ab	4,4 ab	10,3 b

Medias con una letra común en la misma especie no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De acuerdo con el cuadro 8, no se observaron diferencias estadísticas para PC y FDN. En cuanto al contenido de FDA presentó diferencias estadísticas, el valor más alto se obtuvo para la época poco lluviosa (1^{er} set-15 oct) aunque no difiere de las épocas seca y temporal. Así mismo, en forma coincidente, la lignina y las cenizas también fueron más altas para la época poco lluviosa, aunque la primera no fue diferente del temporal y la segunda de la época seca. Las épocas lluviosa y seca presentaron los valores más bajos de lignina. Esto se puede deber a varios factores, entre los que podrían estar en forma asociada, una mayor cantidad de biomasa remanente de pastoreo recién pasados, que incrementa la cantidad de biomasa senescente y proporción mayor de tallos producto de un pastoreo más alto (menos eficiente) posiblemente por un menor consumo

de pasto durante el periodo de lluvias intermitente (poca lluvia) y temporal (lluvia continua de baja intensidad) de los animales.

Carga Animal

La carga animal promedio fue de 2,4 (0,43) UA/ha (Figura 1), la misma se considera alta para la zona. Las variaciones se debieron a la disponibilidad de semovientes, el peso inicial y el crecimiento de los animales y no al soporte del pasto Cayman, el cual mantuvo un buen comportamiento en las cargas más altas. No fue posible establecer una relación razonable entre las épocas del año y los periodos ENOS en relación con esta variable; posiblemente debido a la forma de manejo de los grupos de animales.

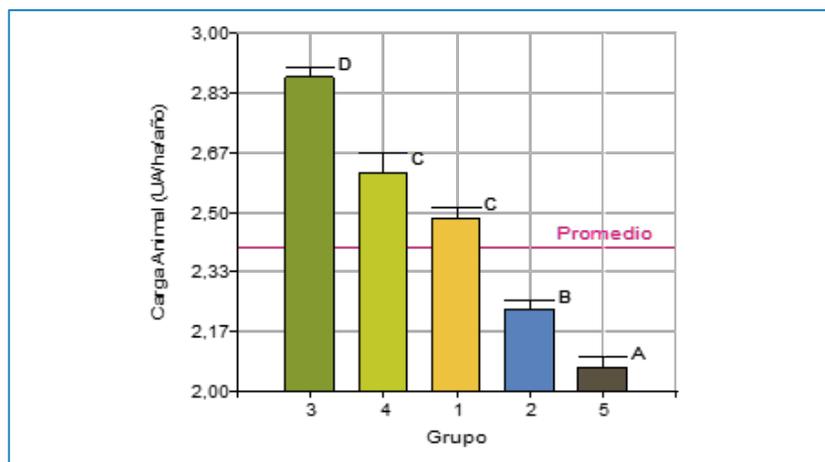


Figura 1. Carga animal durante el período en estudio. Guápiles, Costa Rica. Año 2014 - 2018

Ganancia diaria de peso (GDP)

La figura 2 se presentan las GDP por épocas y fases ENOS, la época con mejor GDP fue la seca. Las épocas poco lluviosa, lluviosa y temporal no presentaron diferencias, aunque se observó una tendencia a la reducción donde el menor valor fue para el temporal. Mientras que para las tres fases ENOS se presentaron diferencias.

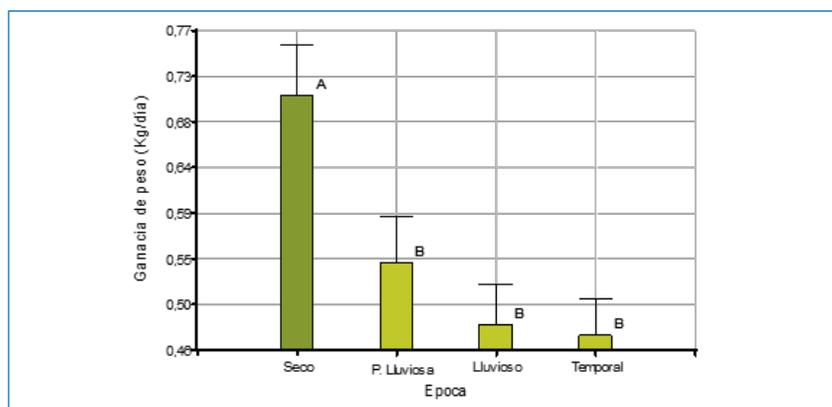


Figura 2. Ganancia diaria de peso por época y fase ENOS. Guápiles, Costa Rica. Año 2014 - 2018

El cuadro 7 presenta los promedios y sus desviaciones de comparaciones entre pares para las épocas dentro de fenómeno ENOS y para las épocas en que hubo animales en medición. Se observa que la época seca en las tres fases presentó la mejor GDP. La época de temporal de La Niña presentó diferencias con respecto a las fases EL Niño y Neutral donde se observaron las GDP menores. En la época lluviosa la fase neutra mostró un GDP baja similar a las de temporal de esta misma fase y EL Niño. En la época lluviosa de El Niño se obtuvo la mayor GDP, 34% más alto con respecto La Niña para la misma época, aunque no mostraron diferencias significativas entre ambas fases, si como entre La niña y la fase Neutral.

Cuadro 9. GDP por épocas y fases ENOS para los Grupos de animales en PRV con pasto Cayman. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Fase	El Niño	La Niña	Neutral
Época	(s)	(s)	(s)
Temporal	0,33 (0,25) a	0,64 (0,30) b	0,29 (0,16) a
Seca	0,72 (0,25) a	0,82 (0,20) a	0,72 (0,37) a
Lluviosa	0,55 (0,41) a	SD	0,36 (0,36) b
P. Lluviosa	0,86 (0,46) a	0,57 (0,19) ab	0,42 (0,43) b

̄: Promedio; (s): Desviación estándar; n: número de animales con GDP; SD: Sin Dato

Medias en la fila con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La fase ENOS con menor GDP fue la neutra, coincidiendo con lo que indican los ganaderos. Sin embargo, con respecto a la fase ENOS las emergencias en la región Caribe se han decretado al final de la época de temporal de la fase La Niña (MIDEPLAN, 2019).

Índice de carga de calor

Los coeficientes de estimación lineal de las diferentes variables climáticas que se asociaron a la ganancia de peso se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 8. Variables climáticas con coeficientes de estimación lineal significativos en relación con la GDP de animales en PRV con pasto Cayman. Guápiles, Costa Rica. Periodo (octubre 2014 - diciembre 2018).

Variable	Estimado (b)	Unidades	Constante (m)
Temp. Mín Diaria	-7,0E-02	°C	2,07
Dif. Térmico Max-Min	1,3E-01	°C	-0,68
Precipitación	-2,0E-02	mm	0,66
Días con Lluvia	-1,0E-02	Días	0,68
Escurrimiento	-2,0E-02	%	0,62
Humedad Relativa	-8,0E-01	%	7,9
Radiación Solar	7,0E-04	W/m ²	-0,42
Velocidad viento	6,0E-02	m/s	1,59

Todos los valores (b m) con $p < 0,0001$

En relación con la temperatura del aire, no se obtuvo correlaciones significativas con respecto a temperatura promedio y máxima diarias sobre la GDP. No obstante, se observaron dos relaciones desde el punto de vista estadístico beneficiosas; la primera una correlación negativa entre la ganancia de peso y la temperatura mínima diaria y la segunda positiva sobre el diferencial térmico del día. Es posible que los animales en una proporción importante del día estuvieran cerca del límite máximo del umbral de resistencia al calor. Por lo tanto, entre mayor fue la reducción de temperatura, se incrementó el confort, notándose un mejoramiento de la GDP en la medida que se redujo la temperatura mínima y se incrementó el diferencial térmico, que normalmente en el trópico húmedo se da más por la caída de la temperatura mínima, que por el incremento de la máxima.

En relación con la lluvia, la cual es abundante en la zona tropical muy húmeda (Holdridge 1978), se observó que influyó en la reducción de la GDP en la medida que los días de lluvia y la precipitación acumulada se incrementaron. Una relación similar se presentó sobre la ganancia de peso y el escurrimiento en porcentaje estimado como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial diarias. Esta última variable podría estar asociada al nivel y lapso de saturación de humedad del suelo, que produce el llamado “encharcamiento” de los suelos pastoreados en los días con alta precipitación, baja evapotranspiración o ambas a la vez, posiblemente produjeron incomodidad a los animales para descansar y pastorear en apartos pequeños del PRV, diseñados para proveer forraje, sin tomar en cuenta el “confort” de los animales en las épocas críticas en esta zona de vida muy lluviosa. En la misma línea se observó una reducción de la GDP en función del incremento de la humedad relativa promedio, la cual siempre fue alta, sucediendo que la reducción fue lo que se dio y favoreció la GDP, dado que la máxima siempre fue del 100%. Dos variables que correlacionaron positivamente con la GDP fueron el viento y la radiación solar incidente, lo cual es de suma importancia en la selección de índices de medición de “stress térmico” en bovinos en pastoreo en las condiciones cercanas al extremo superior de confort, donde la acción del viento y de la energía solar podrían producir efectos refrescantes o “estresantes” de acuerdo con sus variaciones, dado el estrecho margen de variación de la temperatura y humedad en esta zona ecológica y que son las únicas variables a tomar en cuenta en otros índices de “stress térmico” en bovinos.

La figura 3 muestra que el mejor ICC se obtuvo durante la época de temporal, donde las GDP en general fueron bajas (0,46 kg/d) seguido de la época seca donde se presentaron las mejores GDP (0,73 kg/d). Esta contraposición se puede explicar al observar en la misma figura 3, el gráfico de días con exceso de humedad, donde la época de temporal fue la más crítica, especialmente durante El Niño y la fase Neutra del ENOS (cuadro7). Lo anterior sugiere que bajo las condiciones tropicales muy húmedas como en las que se llevó a cabo esta investigación es necesario observar, además de la humedad relativa, la cantidad de agua en el ambiente en función de la saturación de suelo, encharcamiento, forma en que cae la lluvia y los lapsos de tiempo durante

el día, así como la nubosidad que en este caso se explica con una baja radiación solar para esta época.

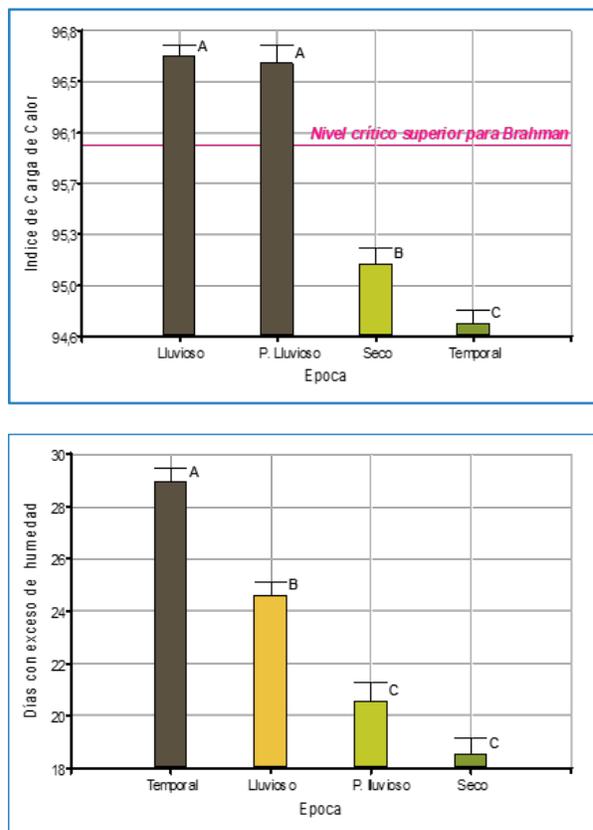


Figura 3. Índice de carga de calor por época para los días de pastoreo de animales en PRV de Cayman. Guápiles, Costa Rica. Año 2014 - 2018

En conclusión, el pasto Cayman en PRV presentó para todas las épocas del año suficiente biomasa forrajera, así mismo mantuvo su calidad nutritiva y una adecuada cobertura especialmente en los apartos de mayor tamaño, posiblemente ante una proporción menor de áreas de sesteo y pisoteo con encharcamiento cerca de los bebederos, con respecto a los apartos pequeños. La carga animal siempre se mantuvo sobre 2,0 UA/ha, llegando hasta 2,8 por periodos de tres a cuatro meses.

El promedio general de GDP se situó en 0,51 kg/día con un rango entre -1,1 y 1,94 para la máxima y mínima GDP obtenida. De acuerdo con los datos presentados anteriormente, este amplio rango de variación se atribuyó a una alta proporción al efecto del clima sobre los animales en las diferentes épocas del año. No obstante, el ICC

fue de fácil implementación, no midió en forma precisa el efecto del “stress” en los animales, al no incluir variables con efectos importantes para la respuesta animal en condiciones muy húmedas, como son la precipitación y saturación del suelo con bajos niveles de Evapotranspiración como sucede en la época de temporal en la región.

Con base en los resultados del presente estudio, es necesario mejorar las GDP durante las épocas críticas (temporal y lluviosa), mediante ajustes en los modelos de producción, especialmente bajo la realidad de los productores de la zona de vida muy húmeda, con una base realista sobre las dimensiones de finca de la región Huetar

Caribe de Costa Rica. Debido a que las especies de pasto Cayman manejadas bajo un PRV como el estudiado en este trabajo, soportaron cargas animales del doble de carga al observado en la región (INEC 2015), supliendo cantidades y calidades adecuadas de forraje para sostener GDP altas como las observadas para la época seca en este estudio. Es necesario replantear en los sistemas de producción bovinos del trópico húmedo, aspectos como la ubicación de bebederos, sistemas de caminos y senderos de acceso a las pasturas “sistemas viarios de acuerdo al lenguaje PRV”, lugares de albergue voluntario y suplementación estratégica, con el fin de mejorar la ganancia de peso.

LITERATURA CITADA

Akin, D; Burdick, D. 1975. Percentage of tissue types in tropical and temperate grass Leaf blades and degradation of tissues by rumen microorganisms (en línea). *Crop Science* 15:661-668. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/abstracts/15/5/CS0150050661>

Allen, C; Batello, EJ; Berretta, J; Hodgson, M; Kothmann, XLi; McIvor, J; J. Milne, J; Morris, C; Peters, A; Sanderson, M. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals (en línea). *Grass and Forage Science* 66:2-28. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>

Armstrong, D. 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. DairySci.* 77: 2044-2050. Consultado 30 mar 2020. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030294771496>

Bailey, W; Brown, J. 2011. Rotational grazing systems and livestock grazing behavior in shrub-dominated semi-arid and arid (en línea). *Rangeland Ecology & Management* 64(1):1-9. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550742411500089>

Blaser, R. 1990. Manejo do complexo pastagem – animal para a avaliação de plantas e desenvolvimento de sistemas de produção de forragens. (2 ed.). FEALQ (Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz), Piracicaba, Brasil. 205 p.

Briske, D; Bestelmeyer, B; Brown; Fuhlendorf, S; Polley, W. 2013. The savory method cannot green deserts or reverse climate change. *Rangelands* 35(5):72-74.

Briske, D; Derner, J; Brown, S; Fuhlendorf, S; Teague, W; Havstad, K; Gillen, R; Ash, A; Willms, W. 2008. Reconciliation of perception and experimental evidence (en línea). *Rangelands Rangeland Ecology & Management* 61(1):3-17. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550742408500078#>

Carter, J; Jones, A; O'Brien, M; Ratner, J; Wuerthner, G. 2014. Holistic management: misinformation on the science of grazed ecosystems (en línea). *International Journal of Biodiversity*. Article ID 163431:1-10 pages. Consultado 16 jun. 2019. Disponible en <https://www.hindawi.com/journals/ijbd/2014/163431/abs/>

Dixon, A; Faber-Langendoen, D; Josse, C; Morrison; Loucks, C. 2014. Distribution mapping of world grassland types. *Journal of Biogeography*.

- 41, 2003-2019. Consultado 16 jun. 2019. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jbi.12381>
- Gaughan, J. B.; Mader, Terry L.; Holt, S. M.; and Lisle, A. 2008. A New Heat Load Index for Feedlot Cattle. Faculty Papers and Publications in Animal Science. 613. Consultado 16 jun. 2019. Disponible en <https://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/613>
- Gifford, R. 1974. A comparison of potential photosynthesis productivity and yield of plant species with different photosynthetic metabolism. *Australian Journal Plant Physiology* 1:107-117.
- Haydock, KP; Shaw, NH. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15:663-669.
- Hernández, M; Argel, P; Ibrahim, M; Mannetje, LT. 1995. Pasture production, diet selection and live weight gains of cattle grazing *Brachiaria brizantha* with or without *Arachis pintoi* at two stocking rates in the Atlantic Zone of Costa Rica. *Tropical Grasslands* 29:134-141
- Hernández, M; Abarca, S; Soto, R. 2014. Evaluación de pasto *Brachiaria* híbrido cv Cayman, en pastoreo en el trópico muy húmedo de Costa Rica. *Revista Universidad Técnica Nacional* 16(70):48-54.
- Hodgson, J. 1989. Management of grazing systems. *Agronomy Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 50:117-122.
- Holdridge L. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica. 216p.
- Ibrahim, M. 1994. Compatibility, persistence and productivity of grass-legume mixture for sustainable animal production in the atlantic zone in Costa Rica. Thesis Ph. D. Wageningen, The Netherlands. Wageningen Agricultural University. 129 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional) 2020. Boletines ENOS (en línea). Costa Rica. Consultado 27 mar 2020. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/boletin-enos>
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, CR). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 20 mar. 2020. Disponible en <http://inec.cr/censos/censo-agropecuario-2014>
- INTA (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria) -CORFOGA (Corporación Ganadera). (2014). Informe 2013. Valoración de servicios eco-sistémicos en fincas ganaderas de cría. San José, Costa Rica. p. 10-12.
- Malhi, Y; Baldocchi, D; Jarvis J, P. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant Cell and Environment* 22:715-740.
- Mannetje, LT; Haydock, KP. 1963. The dry-weight-rank method for the botanical analysis of pasture. *Journal of the British Grassland Society* 18:268-275.
- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica). 2019. Perdidas ocasionadas por fenómenos naturales (en línea). Consultado 4 de abr. 2020. Disponible en <https://www.mideplan.go.cr/perdidas-ocasionadas-fenomenos-naturales>
- Mott, G. (1960). Grazing pressure and measurement of pasture production. *Proceedings 8th International Grassland Congress*, (págs. 601-611). Reading, Engl.
- Orozco, E. 2015. Inicio del rebrote de *B. brizantha* después del pastoreo en el Pacífico Central de Costa Rica. Curso de capacitación NAMA Ganadería Baja en Carbono. Pérez Zeledón. MAG 3-6 de junio.
- Rocha, W. 1978. Evaluación del componente alimenticio y la rentabilidad económica del modulo lechero del CATIE. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE/UCR. 97 p
- Rúa, FM. 2014. Taller bases del Pastoreo Racional Voisin. David, Chiriquí, Panamá. 11 p.
- Ruiz Jaramillo, J.I.; Vargas Leitón, B.; Abarca Monge, S.; Hidalgo, H.G. 2019. Efecto del estrés calórico sobre la producción del ganado lechero en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 30(3): 733-750. Consultado 29 mar. 2020. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/35984/39512>
- Sánchez, S; Milera, M; Suárez, J; Alonso, O. 1997. Evolución de la biota del suelo en un sistema de

manejo rotacional racional intensivo (en línea). *Pastos y Forrajes* 20(2):143-148. Consultado 14 ago. 2019. Disponible en <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1306>

Senra, A; Martínez, RO., Jordán, H; Ruiz, T; Reyes, JJ; Guevara, RV; Ray, JV. 2005. Principios básicos del pastoreo rotacional eficiente y sostenible para el subtrópico americano (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 39(1):23-30. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193017852003.pdf>

Soto Blanco, R; Abarca Monge, S. 2018. Emisión de metano entérico en ganado Brahman en el trópico de Costa Rica (en línea). *Avances Tecnológicos* 12(2):15-23. Consultado 12 ago. 2019. Disponible en http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/87/71

Sorio, H. (2012). *Pastoreo Voisin. Teorías-prácticas-vivencias* (3 ed.). Passo Fundo: Meritos. 298 p.

Thom, E.1959. The discomfort index. *Weather wise*. 12: 57-60. Consultado 1 abr. 2020. Disponible en <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00431672.1959.9926960>

Turco, S; Silva, T; Oliveira, G; Leitão, M; Moura, M; Pinheiro, C; Padilha, C. 2008. Estimating Black Globe Temperature Based on Meteorological Data. *Livestock Environment VIII - Proceedings of the 8th International Symposium*. Embrapa. Consultado 25 mar 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/261706490_Estimating_Black_Globe_Temperature_Based_on_Meteorological_Data

Van Soest, P. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 ed. Ithaca. New York Comstock Cornell University Press. 476 p.

Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soil under pasture after deforestation. In soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropic of Costa Rica. Ph. D Thesis. Wageningen University. 117 p.

NOTA TÉCNICA

ENGORDE DE GANADO ESTABULADO CON DIETAS DE BAJO COSTO, CON BASE EN BANCOS FORRAJEROS

Victoria Arronis¹, Jorge Morales²

RESUMEN

Engorde de ganado estabulado con dietas de bajo costo con base en bancos forrajeros. El presente estudio se llevó a cabo en un sistema de alimentación en estabulado completo, en la zona de La Colonia de Pérez Zeledón. Se engordaron 37 toretes F1 (Brahman x Romagnola). La alimentación se basó en el uso de productos de la finca y de la zona, básicamente forrajes de corte como el pasto taiwan y camerún *Pennisetum purpureum* caña de azúcar *Saccharum officinarum*, botón de oro *Tithonia diversifolia* y harina de coquito.

El costo de la dieta incluyendo otros costos fijos y variables (excepto financiero y depreciaciones) de la operación fue aceptablemente moderado (¢686,00/animal/día). Los resultados se analizaron de acuerdo con la condición de los animales, que presentaron dos edades y pesos diferentes al entrar al sistema, un grupo (G1) con una edad promedio de 11 meses y 254,3 kg de peso en promedio y un segundo grupo más pequeño (G2), de 6,5 meses de edad y 183,6 kg de peso. Ambos grupos se analizaron separadamente tanto en su comportamiento durante su desarrollo y engorde, como en su resultado económico para la finca. Los resultados indican diferencias en ambos casos a favor de los animales de mayor tamaño que ingresaron al engorde; días en alimentación (390 vs 509 días); ganancia diaria de peso (0,800 vs 0,580 kg); peso final de mercado (529 vs 481 kg); rentabilidad (7,57 vs 0,58 %). Los animales del G1 fueron más eficientes en ganancia diaria de peso en 25,9% y en tiempo en engorde en un 23,4 % que los del G2. La conclusión que se obtiene de este resultado es que el animal ideal para engorde, debe andar cerca de los 300 kg de peso corporal. En general los animales de ambos grupos recibieron calificación AAA por edad y rendimiento en canal (59,5%) con un sobreprecio promedio por kg en pie (¢1256,35 vs ¢111,2), con respecto a precio de subasta.

La rentabilidad general del engorde fue de 4,97 %; de no haberse recibido el sobreprecio mencionado, el grupo de animales pequeños hubiera afectado la rentabilidad del engorde en su totalidad (-1,5 %) a pesar de la pequeña rentabilidad (4,3 %) que aun hubiera generado el grupo más grande. Otra información importante, basada en reconocidos antecedentes en la literatura, se observó y confirmó, especialmente con los F1 de los animales G1, donde los rendimientos decrecientes indican que el peso de mercado debería andar alrededor de los 481 kg; animales más pesados reducen su rentabilidad, la cual puede hacer la diferencia entre un caso y el otro. El análisis ulterior de la información indica que la escala de producción es definitivamente imperativa, por el alto riesgo de la actividad y si el inversionista deseara generar más rentabilidad de la que pudiera obtener colocando ese dinero en una bolsa de inversiones. Al menos 200 animales, del tipo utilizado en el presente estudio, deben salir gordos al año, para optar no solo por una rentabilidad aceptable, sino para poder vivir moderadamente de la actividad. El engorde como actividad en agricultura familiar, con cuidado de grupos pequeños de animales (5 a 20 animales), es viable en el tanto, significa un ahorro por la inversión de la propia mano de obra, la cual tiene un incuestionable gran valor de conversión de tiempo disponible en dinero.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica. varronis@inta.go.cr, Sede del INTA en Pérez Zeledón, Costa Rica; jmorales@inta.go.cr. Sede Central del INTA, San José, Costa Rica.

Palabras clave: estabulado, bancos forrajeros, ganancia de peso diaria, triple A.

Keywords: feedlots, fodder banks, daily weight gain, triple A.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha intensificado la búsqueda de alternativas y opciones que incrementen la eficiencia en la utilización de recursos de la finca y la armonía con el ambiente, las cuales deben ser imprescindibles para cualquier actividad agropecuaria. Estas alternativas deben lograr que la actividad pecuaria sea sostenible técnica, social, ambiental y económicamente (Morales *et al.* 2011). La ganadería en el país se ha caracterizado por ser extensiva y se ha desarrollado dentro de un nivel tecnológico muy bajo, condiciones que todavía persisten. La utilización de prácticas irracionales en el manejo de suelos y remanentes ha conllevado al deterioro ambiental y como consecuencia colateral a una disminución en la eficiencia económica de los sistemas de producción. (Arronis 2017)

El análisis detallado de la actividad de ganadería comercial de carne, con ganaderos y técnicos en todo el país, a través de los años y especialmente por medio del proyecto de “Ganadería Intensiva Sostenible” (Modelos Intensivos Sostenibles – MIS 2013-2021) del INTA, mostró importantes resultados en el 2019. Estos resultados podrían contribuir a darle a la ganadería bovina de carne, una oportunidad hacia una actividad más rentable, competitiva y sostenible, en estos tiempos de grandes desafíos producto de factores globalizantes en, comercio, cambio climático y pandemias. (Morales 2017).

En estas regiones es difícil encontrar toretes de razas cárnicas puras o especializadas ya que la mayor parte de los terneros provienen de sistemas de doble propósito donde predominan las cruzas de ganado Cebú *Bos indicus* con ganado europeo *Bos taurus* como la raza Pardo Suizo, Charolais, Simmental, Beefmaster y Limousine, entre otras. Cuando estos cruces son sistemáticamente

planificados (Morales 2017), en confinamiento tienen una excelente tasa de crecimiento, conversión alimenticia y rendimiento en canal, en comparación con aquellos animales que tienen más genes de las razas Cebuínas (Livas 2016).

En Costa Rica, este tipo de cruzamientos ordenados, no es una práctica común en la ganadería de cría comercial de carne, por tanto, difíciles de conseguir. El ganadero, deberá al menos independizar su fuente de alimentación, manejar bajos costos y así mejorar su rentabilidad. Sin embargo, es importante indicar que la escala de producción aquí también hace la diferencia en rentabilidad y sostenibilidad del sistema. Los elementos clave a considerar son: tipo de animal a engordar (perfil genético, tamaño y precio), calidad y costo de la dieta, ganancia diaria de peso y muy importante, el número de animales a engordar, para generar un beneficio/costo mayor a la unidad de inversión.

La producción de carne bovina en el sistema de estabulación (Morales y Acuña 2005; Morales *et al.* 2004; Morales y Cruz 2004), aún presenta numerosas imperfecciones o deficiencias técnicas principalmente en la disciplina de qué, cómo y cuándo hacer las cosas, lo que ha traído como consecuencia que muchos productores o bien los mismos encargados de la explotación, realicen las actividades zootécnicas de una manera *sui generis* sin tomar en cuenta una metodología técnica que beneficie la productividad (Livas 2016).

Simons (2015), indicó que el sistema de engorde intensivo ha dado resultados positivos en los predios en los que se suministran forrajes de alta calidad proteica, suplementos, sales mineralizadas y agua de calidad. Esto ha sido demostrado en nuestro país por (Arronis 2015; Morales y Acuña 2005).

El sistema de estabulación o feedlots consiste en tener a los animales confinamiento, todo el tiempo. Por tanto, reciben toda la alimentación en el comedero, y realizan muy poca actividad física, lo que tiende a reducir los requerimientos energéticos, haciendo disponible más energía para crecimiento. Estos sistemas deben contar con mano de obra capacitada, y con la cantidad requerida de forrajes para todo el ciclo. (Arronis 2007; Rojas y Campos 2015)

El engorde de machos en el país se da de dos formas, en la propia finca donde se producen y se llevan hasta finalización al mercado (Morales 2002 y 2003), o se adquieren de fincas vecinas o subastas. Estos sistemas de engorde tradicionales tardan hasta tres años en sacar animales al mercado; donde los rendimientos en canal andan alrededor del rango del 52 al 54%. Es un sistema basado en pastoreo extensivo, con ganancias de peso diarias de 0,350 kg por animal (Arronis 2008; Morales y Acuña 1999).

En los sistemas estabulados más eficientes, se tienen ganancias de peso diarias de 0,9 a 1 kg diarios, los animales salen al mercado en 1,4 años con rendimientos en canal de hasta 58% (Arronis 2015).

Se ha demostrado durante muchos años en la finca donde se lleva a cabo esta evaluación, que el engorde de novillos en un sistema estabulado, basado en bancos forrajeros de energía y proteína, es una opción de baja rentabilidad, pero positiva (Arronis 2015 y Morales 2018).

El presente estudio, se basa en la experiencia particular (Morales *et al* 2018), de utilizar un grupo de animales, crías F1 (50 % cebuino + 50 % tipo europeo) provenientes de padres de raza pura que pueden manifestar 100 % de vigor híbrido de una finca de cría comercial y llevarlos a engorde a otra finca con sistema estabulado, ambas manejadas bajo el enfoque de ganadería intensiva sostenible (MIS Costa Rica). De darse el resultado, teóricamente esperado (hipótesis técnica de investigación y validación), la práctica tecnológica, como tal, tendría sustento técnico y económico, para su transferencia posterior a técnicos y ganaderos.

En función de lo anterior, esta investigación, tuvo como objetivo la respuesta animal en un sistema intensivo de producción de carne a dietas con base en bancos forrajeros de energía y proteína; es decir, la respuesta aincógnitas, que desde el punto de vista técnico y práctico, se consideran podrían estar los factores clave para la sostenibilidad social, económica y ambiental, del engorde de ganado bovino para Costa Rica. Las respuestas buscadas fueron, cómo afectan: el tipo de animal (tamaño, perfil genético, precio), el mercado de animales (finca, subastas, plantas procesadoras), la dieta en términos de calidad, costos y el número de animales o escala de producción utilizada (punto de equilibrio), todos ellos en función de la rentabilidad particularmente, como elemento esencial en la competitividad y sostenibilidad general de la actividad. A partir de esta experiencia se comparten los resultados en el presente documento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en La Colonia de San Pedro, Pérez Zeledón. La finca está ubicada a 985 msnm, con una temperatura promedio de 23,4 °C y una precipitación anual de 2700 mm.

VARIABLES A EVALUAR

- Perfil genético y peso
- Dietas formuladas
- Ganancias de peso diarias
- Análisis bioeconómico

1. Perfil genético y peso

Treinta y siete toretes media sangre Brahman por Romagnola, fueron trasladados de Liberia a Pérez Zeledón, para ser sometidos bajo un sistema de alimentación estabulada. Estos animales fueron trasladados el 18 de agosto de 2018. Se identificaron dos grupos de toretes por su tamaño. Un primer grupo (G1) de 20 animales, de 11 meses de edad, con un promedio de 254,3 kg de peso ($G1 > 200$ kg) y un segundo grupo (G2) conformado por 17 animales de aproximadamente 6,5 meses de edad y con un peso promedio de 183,6 kg ($G2 < 200$ kg).

El primer pesaje en finca luego de la identificación de cada uno de ellos, se realizó doce días después de su llegada. A partir de este peso (229,1 kg (G1) y 166,5 kg G2), se basan los análisis del presente documento. Los G1 perdieron en promedio 25 kg desde la pesa en finca en Cañas Dulces de Liberia, el G2 perdió 16,5 kg. El segundo grupo de animales más pequeños se mantuvieron durante dos meses y medio en potrero con acceso a suplementación muy similar a G1 que entró directo al estabulado con dietas a base de ingredientes producidos en la finca, de los cuales los forrajes bien manejados y de buena calidad serían la base de la dieta. Los dos grupos se mantuvieron separados en corrales aparte durante el periodo de alimentación.

1.a. Manejo de los animales

Al llegar a la finca cada animal fue identificado con un arete de plástico. Además, se desparasitaron interna y externamente. Se pesaron todos los meses en romana portátil.

Las dietas se brindaron en dos momentos del día, a las 7:30 a.m. y luego a las 2 p.m. Todos los días se hizo el corte de los forrajes, a partir de las 5:30 a.m., se transportaron en pick-up a los corrales, se pasaron por la picadora todos juntos en la proporción debida. Luego se mezclaron con la harina de coquito y se pusieron en el comedero dos veces al día. Hubo disponibilidad de sal y minerales a libre consumo, así como bebederos con agua limpia permanentemente.

La finca cuenta con un sistema de riego para los forrajes todo el año, dándole independencia

y disponibilidad aún durante la época seca. El lavado de los corrales se hizo tres veces a la semana; los remanentes fueron a una fosa con bomba de inmersión para su distribución a los bancos forrajeros.

Los corrales están techados en un 40%, donde se encuentra el área de los comederos y parte para sombra y el resto o sea el 60% del área bajo sol, para sesteo y movilidad, requeridos en el bienestar animal.

1.b. Precio de compra de los toretes

El precio pagado por los toretes fue de **¢1300/kg** y **¢1350/kg**, respectivamente para los animales G1 (254,25 kg) y G2 (183,55 kg), cuyo peso promedio se indica y corresponde al peso de los animales en el lugar de compra. El costo del transporte resultó en ¢ 8 108,00 promedio por animal. El costo final promedio por animal, ya en la finca de engorde resultó en ¢255 833,11 para G1 y ¢338 633,00 para G2.

2. Dietas formuladas

Es importante señalar que la base de la alimentación la constituyen los forrajes de energía y proteína, estos tienen un precio muy bajo con respecto a los alimentos concentrados con base en granos. Los bancos forrajeros de energía y proteína se constituyen en una de las mejores opciones de alimentación para rumiantes en el trópico y una forma muy eficiente para enfrentar los efectos negativos del cambio climático. En esta región se cuenta con varias opciones forrajeras que han sido generadas y validadas en estudios anteriores (Arronis 2015).

Las dietas utilizadas se muestran en el Cuadro 1. El costo diario promedio de la dieta por animal fue de ¢686,00, la cual incluye los costos variables y costos fijos durante el periodo de engorde, como puede observarse la mayoría de los ingredientes son forrajes que se producen en la finca que cuenta con bancos forrajeros de camerún, taiwán (*Pennisetum* sp.), caña forrajera (*Saccharum officinarum*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*). La calidad nutricional de estos materiales fue analizada en el Laboratorio de Piensos y Forrajes del INTA.

Cuadro 1. Dietas utilizadas para engorde de novillos, durante el período Agosto 2018 – abril 2020. Pérez Zeledón, Costa Rica.

Ingrediente (kg)	Dieta según peso del animal en kg					
	250	300	350	400	450	500
Harina de coquito	0,5	0,5	1	1,5	2	2
Caña azúcar	5	6	7	8	10	11
Camerún/Taiwan	15	18	20	23	26	28
Botón de Oro	3	4	5	6	7	8
Sales minerales	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060

La dieta se basa en el consumo de Materia Seca de 3% del Peso vivo, 14 a 16% de Proteína Cruda, 2,5 a 3,0 Mcal EM.

3. Ganancias de peso diarias

Se evaluaron las ganancias de peso diario, a partir de los datos generados de los pesos mensuales.

En estos sistemas intensivos más eficientes con base en forrajeras, los animales tienen ganancias de peso diarias de 0,9 a 1 kg y salen al mercado en 1,4 años con rendimientos en canal de hasta 58% (Arronis 2015).

Se registraron los costos de todas las actividades atinentes al proceso de engorde, pesajes de animales y de dietas, manejo sanitario; gastos e ingresos por cada lote de novillos en engorde, para poder realizar el análisis económico respectivo y obtener la variable indicada.

4. Análisis bioeconómico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ganancias de peso y dietas suministradas

Desde que los animales entraron a estabulación, hasta su salida listos para mercado, con pesos entre 460 y 600 kg, pasaron 594 días, es decir casi 20 meses. Los animales fueron saliendo gradualmente, los del grupo G1 de mayor tamaño salieron antes como era de esperar. En total, salieron cinco grupos, tres fueron del G1, los cuales ya para el 10 de enero del 2020 (17 meses) habían salido todos con un peso de mercado promedio de 531,2 kg. Casi tres meses después (84 días) salieron los animales del grupo G2, que

lo hicieron en dos lotes en dos fechas diferentes, la última y final el 03 de abril del 2020, con un peso promedio de los 17 animales de 489,7 kg.

En la siguiente Figura 1, se puede observar en forma general, las curvas de crecimiento de los dos grupos de animales. En promedio los animales G1 salieron con un peso de mercado promedio mayor al grupo G2 (538,8 vs 478,0 kg de peso vivo). Animales del G1 empezaron a salir gordos desde junio del 2019 a los nueve meses de ingresar al estabulado, que por su peso final observado (sobre los 500 kg), debieron haber salido antes.

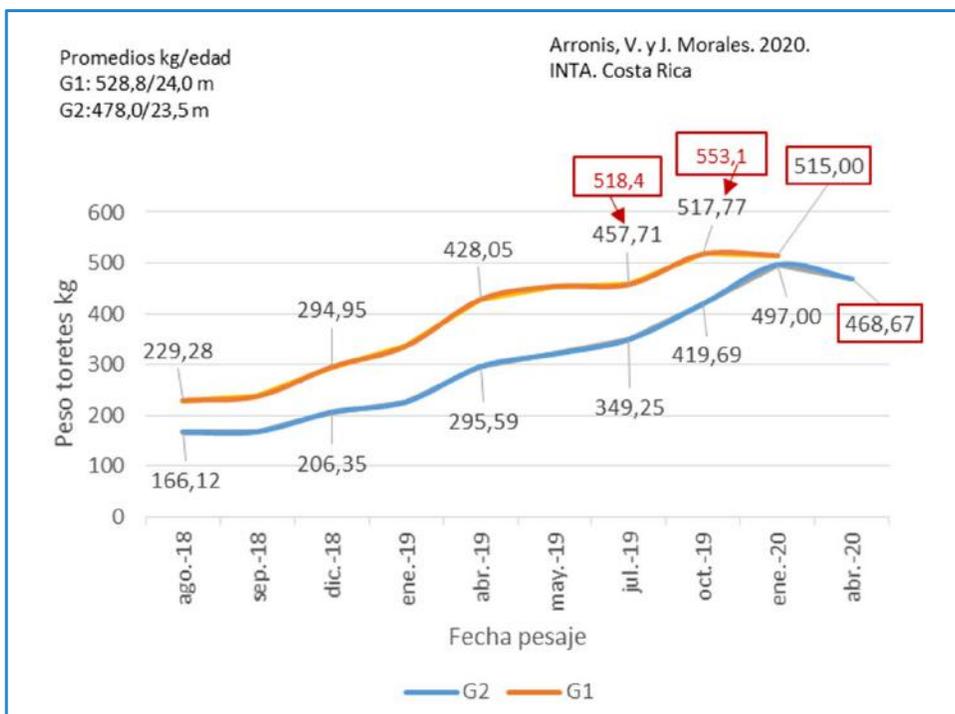


Figura 1. Curva de crecimiento de los animales F1 (Brahman x Romagnola), G1 y G2, durante toda la etapa de engorde (en rojo pesos de sub-grupos vendidos. Finca Bendiciones. Pérez Zeledón, Costa Rica (2020).

La curva general de ganancia diaria de peso (Figura 2), para los grupos G1 y G2, muestra promedios de 0,800 y 0,580 kg diarios, respectivamente, durante el periodo de engorde. Los animales del G1, mostraron su mayor, eficiencia de conversión (1,10 a 0,971 kg/día) entre abril y mayo del 2019, entre los 7 y 8

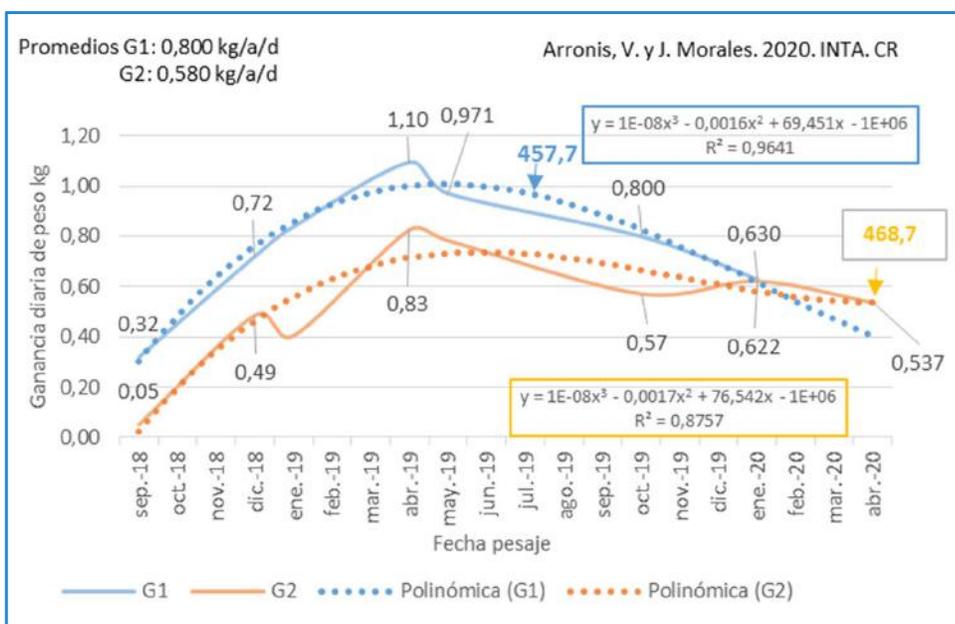


Figura 2. Ganancia diaria de peso de toretes F1 (Brahman x Romagnola) La Colonia, Pérez Zeledón. Costa Rica (2020).

Meses de estabulados, correspondientes a 18 a 19 meses de edad, justamente unos 60 días antes de salir, al mercado, el primer grupo. El promedio general de los 20 animales en ese momento era de 457,7 kg, lo que indica que ese es el peso aproximado más eficiente al que debieran salir los animales a mercado, para ahorrar el alimento extra-producto de la pérdida en conversión alimenticia. En la Figura 2 también es evidente la menor eficiencia en conversión alimenticia de los animales del grupo G2 con respecto a los del G1.

Considerando que los grupos salieron en fechas diferentes, se hizo el análisis por lotes y a partir de este análisis se discute el comportamiento de estos animales en forma grupal y en forma general. Finalmente, con base en las ganancias de peso y costos, se hace el análisis económico de rentabilidad y eficiencia de ambos grupos; y como evento total.

Las dietas suministradas estaban formuladas para la ganancia diaria de 1 kg. Hubo variaciones en las ganancias de peso debido a otros factores, no precisamente a la formulación de la dieta.

Análisis grupal de los toretes. Grupo G1

Del grupo G1 salió un primer lote de siete animales gordos (518,4 kg peso promedio), poco más de nueve meses después de haber ingresado al estabulado (27 de junio del 2019), a una edad de 20,4 meses. La ganancia diaria promedio de estos animales fue de 0,961 kg, alcanzando la máxima ganancia diaria (1,395 kg/d) un mes antes de su venta, cuando tenían un peso corporal promedio de 492,7 kg; Figura 3.



Figura 3. Comportamiento del peso corporal y ganancia diaria de peso del primer lote de toretes F1 (Brahman x Romagnola), que salió a mercado- Finca Bendiciones. Pérez Zeledón. Costa Rica (2020).

De aquí en adelante la ganancia fue de 0,804 kg por día. Este factor es conocido como rendimiento decreciente, lo cual afecta la eficiencia económica de la actividad. Esto quiere decir que los animales, en este caso debieron venderse cuando pesaban 493 kg y no cuando pesaban 518,5 kg, pues esto significó una pérdida de un

42,36 % (0,591 gramos diarios) en la eficiencia de conversión que traía el animal, lo cual pudo haber significado unos ¢8767/animal (costo de alimentación diaria de un animal ¢686,00 x 0,4263 x 30 días) que dejó de percibirse, cifra importante en una actividad de reconocida baja rentabilidad. Desde luego que, en la mayoría de los casos, no

se trata cuando uno quiere vender, sino cuando me lo van a recibir. Normalmente estos desfases bio-económicos favorecen a los industriales antes que a los productores. Pero si vale la pena ponerle atención a esto, planificando ventas y pesando animales con periodicidad para tratar de minimizar las pérdidas por razones en las que tenemos algo de control.

Es importante recordar que estos son animales media sangre, cruzados con ganado tipo europeo, lo cual sumado a la edad que alcanzaron y peso

de mercado (20 meses), prácticamente se está garantizando una carne de muy buena calidad (Morales *et al* 2018), que, aunque no exista un sistema de clasificación para el pago por calidad, algunos industriales y comerciantes los buscan y pagan una extra por ellos.

Un segundo lote de este grupo G1 de animales, Figura 4, salió a la venta el 16 de octubre del 2019, a los 14,3 meses de estabulación, con una edad de 25,1 meses y un peso promedio de 553,1 kg. Aquí se vuelve a observar el factor de



Figura 4. Comportamiento del peso corporal y ganancia diaria de peso de segundo lote de toretes F1 (Brahman x Romagnola), que salió a mercado- Finca Bendiciones. Pérez Zeledón, Costa Rica (2020)

Los rendimientos decrecientes, cuando a partir más o menos del mes de julio, los animales pesaban en promedio 488,4 kg y debieron haberse vendido. A un promedio de ganancia de peso de 0,598 kg por día por animal, de julio en adelante, se perdió 0,465 gramos diarios de ganancia de peso por rendimientos decrecientes, lo que pudo haber significado un 43,7 % menos en eficiencia alimenticia lo que tiene un costo en el periodo de $\text{¢}686,00 \times 0,437 \times 106$ días a la venta = $\text{¢}31\,776,89/\text{animal}$ por alimentación extra.

El tercer lote en venta del grupo G1 (Figura 5), salió el 10 de enero del 2020, diecisiete meses después de haber entrado al sistema de alimentación. Estos animales evidentemente por el mayor

periodo en engorde presentan una ganancia diaria de peso de solo 0,630 kg y salieron con un peso corporal de 515 kg promedio. Nuevamente se vuelven a observar los rendimientos decrecientes. Cuando los animales tenían un peso promedio de 460,5 kg debieron haber salido, pues dejaron de ganar 0,409 kg (45,1%) promedio diario a partir de ese momento y durante 134 días, lo que significó aproximadamente $\text{¢}686 \times 0,451 \times 134$ días a la venta = $\text{¢}41\,475,70$, por animal. Con mucha más razón, para un animal que le toma 17 meses para alcanzar peso de mercado, (lo cual es de por sí ineficiente en estos sistemas estabulados), debería planificarse bien su salida, para forzar más la rentabilidad presumiblemente baja, como prácticamente ocurre en la mayoría de los sistemas ganaderos actuales.

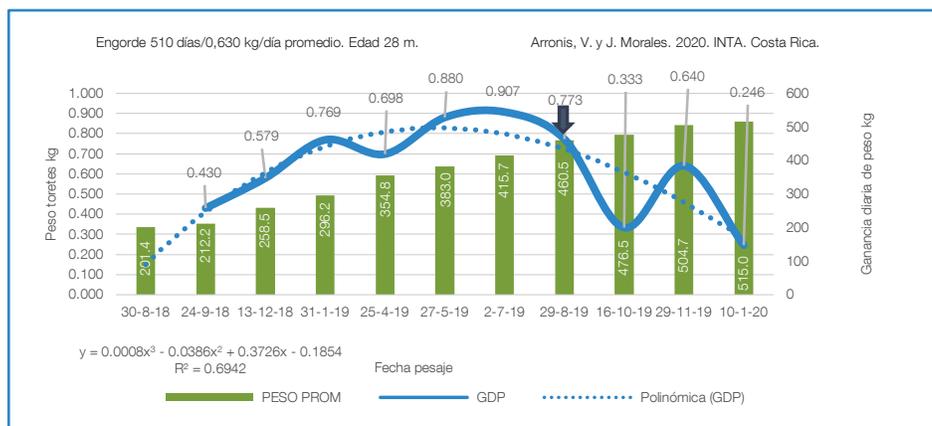


Figura 5. Comportamiento en peso corporal y ganancia diaria de peso del tercer lote de 6 toros F1 (Brahman x Romagnola), que salió a mercado- Finca Bendiciones. Pérez Zeledón, Costa Rica. (2020).

Con la venta de este tercer lote, todos los animales del grupo más pesado terminaron de salir. En este estudio y con este tipo de animales, los datos indican que el peso corporal más eficiente para enviar la matanza es en promedio de 481 kg. La práctica de llevar los animales sobre los 500 kg y a veces hasta los 600 kg, puede beneficiar a alguien, pero no exactamente al engordador.

de haber entrado, estos animales salieron con un peso promedio de 487 kg peso corporal y una edad de 23,5 meses. En este caso, aunque aparenta observarse un efecto de rendimientos crecientes, es evidente que estos animales en esos momentos aun no presentaban un peso de mercado (372,3 kg), lo que obliga a continuar hasta que lo alcancen, independientemente de que hubiera un periodo anterior de conversión alimenticia más eficiente. Los animales se vendieron a un peso mucho menor a los del grupo grande (G1), lo cual fue lo más racional, ya que estos animales, difícilmente mejorarían su eficiencia y más bien hubieran generado pérdidas de haber continuado en el proceso. Estos animales con esa edad y en conocimiento de su perfil genético, también recibieron premio, porque además también presentaron buen rendimiento en canal.

Análisis Grupal de los toros. Grupo G2

En la misma fecha anterior se vendieron nueve de los animales del grupo G2, Figura 6, que habían entrado de menor peso; antes, solo un animal de este grupo había salido a la venta con peso de mercado. Diecisiete meses después

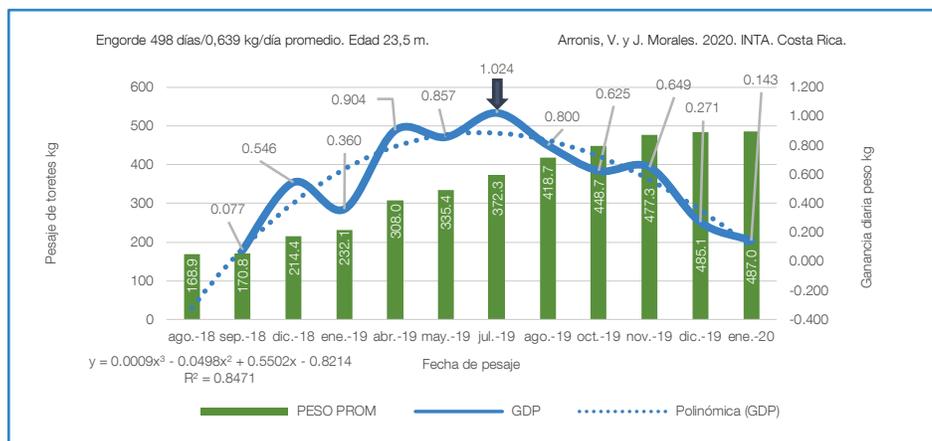


Figura 6. Comportamiento en peso corporal y ganancia diaria de peso del primer lote de nueve animales del G2 que salió a mercado. Finca Bendiciones. Pérez Zeledón, Costa Rica. (2020)

Finalmente el último lote de seis animales de este grupo G2, Figura 7, salió a la venta el 03 de abril del 2020, después de casi 20 meses de alimentación y una edad de 26,3 meses, si se compara con engordes convencionales.

Estos animales promediaron pesos de mercado un poco más bajos que el grupo anterior con 469 kg y ganancias diarias durante el periodo de apenas 0,527 kg. Aquí sucede lo mismo, pues, aparenta haber efectos de rendimientos decrecientes, pero más bien es un comportamiento errático de sube y baja en ganancia de peso, por el avance de engorde lento de estos animales, relacionado con el poco peso que llegaron a

estabulación, lo que dice mucho en materia del tipo y peso de animales adecuados para el engorde.

Finalmente para cerrar esta sección del comportamiento de estos dos tipos de animales, en forma general se puede indicar que es importante utilizar animales eficientes en conversión alimenticia (ganancias diarias sobre los 900 gramos diarios, en sistemas de alimentación estabulada). Normalmente un animal cerca de los 300 kg de peso está en mejor condición fisiológica para el engorde por su estado de madurez (Prada 1989, citado por Sánchez M 2005; INTA Argentina 2012 y Arronis 2007). Para esto, animales cruzados puede ser una opción si

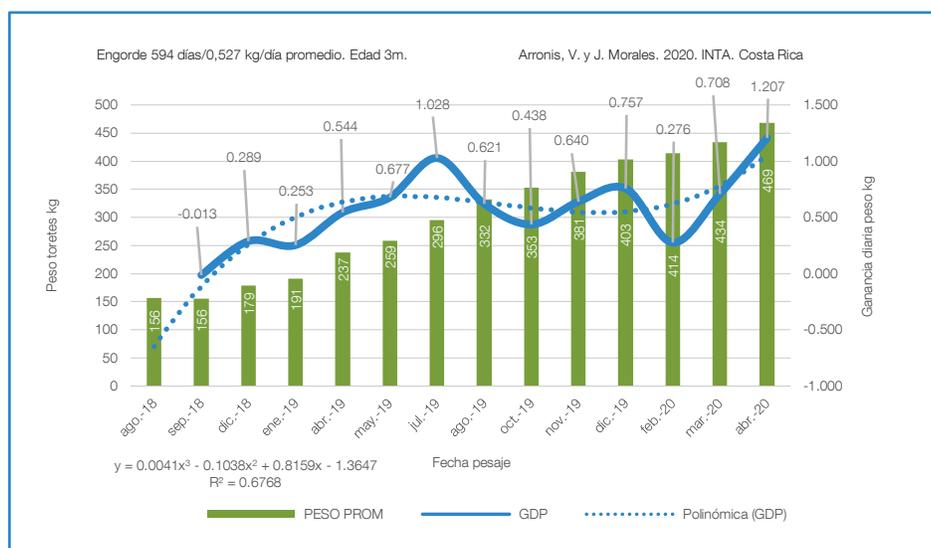


Figura 7. Comportamiento en peso corporal y ganancia diaria de peso del segundo lote de seis animales del G2 que salió a mercado. Finca Bendiciones. Pérez Zeledón, Costa Rica. (2020)

Hubiera una mayor disponibilidad de ellos en el mercado. En general, una vez que los animales alcanzan los 450 a 500 kg de peso corporal, su eficiencia en conversión alimenticia empieza a disminuir y este factor se puede volver un elemento clave en la rentabilidad del negocio, como lo veremos en la próxima sección.

Análisis económico-financiero del engorde

Como se ha comentado anteriormente del manejo y comportamiento de los animales en engorde, se pasa a analizar el resultado económico de esta actividad en particular. El engorde de bovinos en sistemas estabulados tiene varios factores clave a considerar para obtener un resultado económico positivo. Los factores por considerar son: tipo de animal (perfil genético y tamaño), precios de compra y venta del ganado, dieta (calidad y costo), la ganancia diaria de peso de los animales, el número de animales a engordar (escala de producción).

Perfil genético y tamaño

En el análisis anterior, se vio y discutió ampliamente el comportamiento de animales de diferente tamaño en cuánto a ganancia de peso, peso corporal y edad de mercado. Allí los datos evidenciaron la importancia de que los animales tengan en promedio alrededor de los 300 kg para ingresar al sistema. Animales más pequeños, como los del grupo G2, que se usó en este estudio, sufren de un “letargo” (se puede decir natural), en ganancia de peso, porque el crecimiento muscular y adiposo, aún no se dispara, sino hasta que se construya tejido óseo y otros relacionados con el crecimiento estructural hacia el tamaño adulto, generalmente muy ligado, a su genética racial. Quizá no en estos términos, pero esta etapa fisiológica del animal es reconocida por los ganaderos y está documentada en la literatura científica (Morales 2002 y 2003). La condición de los animales en esta etapa de su desarrollo está relacionado con el cambio que sufren, tanto psicológico como fisiológico, causado por la separación de la madre al destete

(Arronis 2007; INTA Argentina 2012) y una alimentación exclusiva a base de forraje. Esta etapa de desarrollo debe hacerse en pastoreo (Morales y Cruz 2000), porque es el sistema de más bajo costo para llevarlos al peso (300 kg) a partir del cual el animal estará en una condición fisiología más hacia músculo y tejido adiposo y menos a crecimiento estructural, es decir cuándo estará listo para el engorde.

Mencionado lo anterior, las diferencias también son evidentes en el análisis económico. En el Cuadro 2, se muestran las cifras relacionadas con el tamaño. Por ejemplo, normalmente en el mercado los animales de peso menor a 200 kg de peso corporal tienen un precio más elevado que los mayores a 200 kg. Sin embargo por su menor peso los más pequeños costaron ₡247 792,50 y los más grandes ₡330 525,00. La inversión por los 37 animales fue de ₡10,8 millones, monto que tiene un costo financiero que no se está considerando en los cálculos.

Cuadro 2. Costos de los animales y de la alimentación (Tasa cambio, 2019 ₡599/\$), en relación con su peso. Pérez Zeledón, Costa Rica.2020.

Análisis de costos						
Animales	N°	Peso inicial	Costo/a	Valor total	Días engorde	₡686/a/día
Pequeños	17	183,55	₡1350	₡4 212 472,50	509,18	₡349 295,10
Grandes	20	254,25	₡1300	₡6 610 500,00	389,9	₡267 471,40
Total	37			₡10 822 972,50		

El otro costo importante es el de la alimentación el cual incluye mano de obra y otros costos fijos y operativos, que resultó en costos mayores por animal del G2, comparado con el G1, dada su mayor permanencia en el estabulado (₡349 295,1 vs ₡267 471,4).

Sumados los costos (sin considerar costos financieros ni depreciaciones), a los 510 días al final del engorde éstos suman ₡22,1 millones (costo del ganado, costos de alimentación y otros). Por la calidad de este tipo de animales y su rendimiento (59,5 %), se recibió un sobrepeso promedio por kg de peso vivo (₡1256,35) comparado con el precio promedio de subasta que se pagó durante el periodo que estuvieron saliendo estos animales al mercado (₡1111,11/kg PV). Una vez descontado el costo de transporte de los animales, este sobre precio permitió recibir un ingreso neto positivo en ambos casos, ₡3395,05 y ₡61 268,61, para G2 y G1, respectivamente (Cuadro 3). Es decir, los de mayor peso de ingreso al estabulado, recibieron una diferencia de aproximadamente ₡57 873,56 más por animal.

Cuadro 3. Costos totales de dieta, ingresos e ingreso neto por animal (Tasa cambio, 2019 ¢599/\$). Pérez Zeledón. Costa Rica. (2020)

Análisis ingresos (- transporte*)						
Animales	Costo dieta**	Venta ¢/kg	Peso final (kg)	Venta total ¢	Ganancia Neta Total ¢	Ganancia Neta/a ¢
Pequeños	5 938 016,00	1 256,35	8235	103 46 042,25	195 553,75	3395,05
Grandes	53 49 428,00	1 256,35	10624	13 347 462,40	1 387 534,40	61 268,61
Total	11 287 444,00			23 693 504,65		

*Transporte ¢8108,11/animal (Liberia-Pérez Zeledón) ** Costo total de la dieta y otros gastos fijos y operativos por grupo animal.

El análisis económico final indica, según el Cuadro 4, que en total el engorde de los 37 animales en su conjunto, permitieron una rentabilidad del 4,79%. Que los animales que entraron de mayor peso al engorde generaron una rentabilidad del 7,57 %, comparado con solo un 0,58 % del grupo de menor tamaño.

Cuadro 4. Rentabilidad total y rentabilidad ajustada al año. Eficiencia del grupo animal G1 en relación con el grupo G2. Pérez Zeledón. Costa Rica. (2020)

Análisis de rentabilidad y eficiencia				
Animales	Rentabilidad		Eficiencia animal grande	
	Total	Ajustada al año	Tiempo engorde	Ganancia de peso
Pequeños	0,6%	0,58%		
Grandes	10,2%	7,57%	23,43%	25,91%
Total	5,8%	4,97%		

En aras de dar una idea de lo que podría haber pasado si en lugar de animales F1, se hubieran utilizado animales convencionales en el engorde, se hicieron algunos cálculos gruesos, no presentados En el Cuadro 4. animales convencionales que comúnmente se encuentran en el mercado (muchos provenientes de sistemas de doble propósito) y considerando el precio promedio (¢1111,17/kg PV) de subasta que hubo durante el periodo que los animales estuvieron

saliendo acabados para el matadero, los animales pequeños hubieran presentado pérdidas sobre el 2,36 % y los animales grandes hubieran recibido una utilidad neta no mayor al 6,36 %. Claro que estamos asumiendo un comportamiento similar en conversión alimenticia de estos animales convencionales y por lo tanto, tiempos de alimentación similares a los F1, lo cual podemos inferir que no es totalmente cierto. Hasta aquí el análisis realizado indica, la importancia del peso de los animales al ingresar a engorde, porque estos animales superan casi en un 26 % en conversión alimenticia y por lo tanto en tiempo en engorde (23,4 %), a los que ingresan de pesos menores y esto significa mayores ingresos netos (más de ¢57 mil colones por animal).

Desafortunadamente no se tuvieron animales convencionales contemporáneos a los del presente estudio, como para haber observado las diferencias de comportamiento biológico y económico de estos animales. Sin embargo, es importante mencionar que usualmente los toretes en esta finca entran al sistema con 300 kg, son comprados en subasta, o en fincas de productores de la región; se engordan durante 222 días, con una ganancia de peso diaria de 0,9 kg por animal por día, luego salen al mercado con 500 kg de peso y se venden a carniceros o a plantas procesadoras (57% rendimiento en canal), con precio diferenciado. Solamente cuando hay sobre oferta se venden en subasta. (Arronis 2015). Esta finca tiene una capacidad para engordar 100 animales y la ganancia neta obtenida por novillo en ese caso ha sido de ¢118.384,00 asimismo, con 50 animales ha sido de ¢60.000,00 aproximadamente (Arronis 2020).

El presente estudio revela resultados similares a otros estudios en la literatura (Prada 1989, citado por Sánchez 2005) y muy relacionados con la curva de crecimiento de un bovino (Morales 2002), donde una vez alcanzados los 500 kg de peso, el crecimiento posterior en peso, muestra una curva de rendimientos decrecientes. Es importante señalar que, con los sistemas intensivos se logra reducir la edad en la cual se alcanzan esos pesos.

Escala de producción

Un análisis ulterior del presente estudio se hace necesario. Definitivamente queda confirmada la baja rentabilidad del engorde, a pesar del resultado biológico y económico positivo observado (Morales *et al* 2001; Morales *et al* 2003). Este análisis parte de lo que los economistas llaman riesgo de capital. Es importante recordar que los 37 animales en engorde generaron una inversión de ¢22,1 millones. Que hubo una rentabilidad del 4,97 % sobre ese capital, la cual no es muy atractiva para un inversionista con esa cantidad de dinero en sus manos.

Es decir, probablemente el depósito a plazo tenga una tasa más baja de pago por el capital, pero de seguro supera en mucho con respecto al alto riesgo de la actividad de engorde, donde muchos factores entran en juego en que el productor no tiene control, llámese precio del ganado, disponibilidad de animales de buena calidad para el engorde, animales uniformes en tamaño, clima, enfermedades y hasta eventos naturales. Prácticamente se está diciendo, que se requiere una rentabilidad más alta, para aminorar ese gran riesgo sobre el capital. Estamos hablando de engorde de animales, no de una actividad de tipo familiar donde, el atractivo es engordar 5 a 20 animales al año, lo que permite es un ahorro de mano de obra, que es muy bienvenido para los gastos familiares cuando no hay mucho trabajo disponible o hasta para una actividad tipo hobby.

El presente estudio indicó que el inversionista obtuvo, en promedio, unos ¢57 mil colones por animal vendido, utilizando el resultado de la venta de los animales más pesados. Si esta persona y su familia necesitara vivir de esta actividad, debiera recibir ¢1 millón de colones por mes para

hacerlo de una manera decorosa, sin ostentación ni lujos. Esto significaría ¢12 millones al año, ¢57 mil/animal. El mínimo de animales que necesitaría para producir esa utilidad neta rondaría la finalización de cerca de 200 animales gordos. Esto es lo que se llama en economía y administración, escala de producción. Independientemente de lo bien que lo haga, con animales de 300 kg, F1, dietas baratas, entre otros, 200 animales sería lo menos que se requieren para vivir dignamente. Ahora el problema que enfrentamos es que utilizando los datos del presente estudio, esto requeriría una inversión anual de alrededor de 120 millones de colones. Aquí es donde se requiere una buena planificación y ver las opciones. Si no se cuenta con el dinero, definitivamente se requiere hacer el análisis financiero y viabilidad del proyecto. Si se tiene el dinero, se deben sopesar todos los riesgos para garantizar un lugar seguro para colocar ese dinero. Conclusión, para trabajar un engorde de ganado se requiere el uso de tecnología y manejos probados, pero particularmente se requiere escala de producción, financiamiento, una buena planificación (disponibilidad de animales, producción de alimentos, infraestructura, etc.) y asumir los riesgos inherentes a la actividad. Posible si, arriesgado también. El conocimiento de todos estos factores y mucha planificación, son requeridos para entrar en esta actividad económica

Varias lecciones aprendidas se pueden señalar como resultado del presente trabajo. Primero que todo en este tipo de actividades se deben usar animales con pesos de cerca de los 300 kg al inicio del engorde, práctica usual en la finca analizada. Animales de pesos menores a 250 kg, tienen un alto costo para llevarlos a peso de mercado. El animal deseable para engorde es el animal cruzado (cebuino por europeo), porque hay más posibilidades de recibir mejores precios por calidad del animal y por potencial de rendimiento en canal. Este tipo de animal sale con peso de mercado a una edad mas temprana, lo que le da también un potencial de carne de calidad en términos de suavidad (Morales *et al.* 2018). También se puede inferir de aquí, en términos de eficiencia y costos, que los animales se deben llevar a peso final de mercado, máximo de 500 kg de peso vivo, dados los rendimientos decrecientes de la respuesta animal en ganancia de peso, en relación con las unidades de alimento consumidas, sobre ese peso.

Es importante señalar, que la finca de la cual se trasladaron los animales ubicada en Cañas Dulces de Liberia, se encuentra a una altura de 144 msnm y una temperatura promedio de 27°C, en tanto que la finca de la Colonia de Pérez Zeledón está a 985 msnm y una temperatura promedio de 23°C. Este fue un factor climático importante en la adaptación de los animales, ya que al principio los pequeños desarrollaron una especie de pelusa, probablemente por no estar acostumbrados a temperaturas más bajas.

El otro gran resultado observado es que la actividad del engorde estabulado es de muy baja rentabilidad (Arronis 2017; Pérez 2016 y 2017), para no ir más lejos si se contabilizaran costos de oportunidad de la tierra, bienes muebles y capital. En apariencia, encerrar plantea un mayor costo de alimentación por kg ganado, puede requerir algún gasto en estructura de personal y administración. Asimismo, es cierto que su rentabilidad es muy sensible a variaciones de precios del mercado. Esto hace que en ocasiones un análisis individual de esta práctica, arroje márgenes brutos bajos, nulos y en algunas ocasiones hasta levemente negativos. Sin embargo, para poder valorar objetivamente los beneficios del estabulado, es necesario analizar el ciclo completo de manera global. De esta forma se demuestra que los kg ganados con el recurso más barato, que son los forrajes, culminan con un producto de calidad y acorde con las exigencias del mercado.

Pequeños engordes (5 a 20 animales) que no requieren grandes inversiones y en los que solo se necesita la atención de una persona por unas horas al día, como tal, podría ser visto como un ahorro producto de la mano de obra, que se recibirá al final cuando se vendan los animales; o también podría ser parte de una actividad más amplia de agricultura familiar, donde viene a engrosar los ingresos al sumarse a otras actividades productivas y que permiten hacer un uso más eficiente de la mano de obra familiar.

Debido a esta baja rentabilidad de la actividad, como ocurre en otras partes del mundo (estabulados de miles de animales – USA; UE, Brasil, etc.), ya en Costa Rica se empiezan a observar, con más frecuencia, estabulados de 3000 y más animales (aún así pequeños con respecto a otras latitudes). Este nivel de escala permite diluir costos fijos y mejorar la rentabilidad del negocio, que aún así, quizá no compita con los costos de oportunidad mencionados anteriormente. Sin embargo, el negocio real no está exactamente en el engorde, sino su industrialización y venta para la exportación o expendios al detalle.

Si unificamos los resultados de la experiencia del INTA en la cría comercial (artículo a publicar sobre este tema en la revista del INTA), con el presente, como consecuencia del proyecto MIS Costa Rica, se ratifican las acciones de apoyo al sector primario de la producción, en conjunto con los esfuerzos de el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Cámaras de Ganaderos, ganaderos individuales, la Corporación Ganadera (CORFOGA), etc. En este momento con la situación económica existente en términos financieros, ambientales y de acuerdos comerciales, no es suficiente el manejo, la tecnología y la escala, para que los ganaderos salgan adelante y puedan garantizarse un presente y futuro económico, estable para ellos y sus familias y, si además, no se fortalecen con la alianza de otros ganaderos e instituciones del sector y financiero que le permitan asumir la agrocadena completa con una estrategia de producción horizontal y vertical, para producir el ganado, engordarlo, procesarlo y ponerlo a la venta por vías digitales y plataformas, directo a los clientes (consumidores individuales, turismo, detalle – carnicerías) compitiendo por precio y calidad, atrayendo y creciendo por satisfacción al consumidor. Esto mismo es factible en carne bovina, leche y otras especies.

LITERATURA CITADA

- Arronis, V. 2007. Recomendaciones sobre sistemas Intensivos de producción de carne: estabulación, semiestabulación y suplementación en pastoreo Fittacori. San José. Costa Rica. 24 p.
- Arronis, V. 2008. Manual de recomendaciones sobre sistemas de producción sostenibles de producción de carne. INTA. San José. Costa Rica. 54 p.
- Arronis, V. 2015. Estudio sobre la utilización de bancos forrajeros como estrategia para enfrentar los efectos del Cambio Climático en sistemas semiestabulados de carne y leche en la Región Brunca. Informe Final. INTA. Pérez Zeledón. Costa Rica. 51 p.
- Arronis, V. 2017. Sistemas intensivos sostenibles de producción de carne como estrategia para enfrentar el cambio climático. INTA. San José. Costa Rica. 54 p.
- Arronis, V. 2020. Sistema intensivo de producción de carne, con base en bancos forrajeros como estrategia para enfrentar el cambio climático. Presentación. INTA. San José. Costa Rica. 16 p.
- Castellaro, G; Klee, G; Chavarría, J. 2007. Modelo de simulación de sistemas de engorde de bovinos. Agricultura Técnica 67(2)163-172.
- Livas, F. 2016. Alimentación y manejo de ganado bovino de engorde en condiciones de trópico. UNAM. México. 15 p.
- Monge, M. 2016. Viabilidad económica – ambiental para la producción de 40 novillos de engorde estabulado en el cantón de San Ramón de Alajuela. Tesis Licenciatura. UCR. San José. Costa Rica. 202 p.
- Morales, J; Acuña, V. 1999. Evaluación de la ganancia de peso de toretes en pasturas de *Panicum maximum* cv. tanzania en el Trópico Húmedo de Costa Rica. INTA. San Carlos. Costa Rica. 14 p.
- Morales, J. 1999. Ganancia de peso de toretes alimentados con ensilaje de pulpa de naranja en un sistema de estabulación. Informe de Avance. Cañas. Guanacaste. Costa Rica. 5 p.
- Morales, J; Cruz, A. 2000. Ganancia de peso de toretes en un sistema de alimentación semi-estabulado con acceso a pasturas fertilizadas de pasto transvala (*Digitaria decumbens* cv. transvala). Informe Final. MAG. Cañas, Guanacaste, Costa Rica. 28 p.
- Morales, J; Cruz, A; Acuña, V; Dobles, F. 2001. Ganancia de peso de toretes alimentados con ensilaje de maíz en un sistema de estabulación. Informe Final. E.E.E.J.N, MAG. Cañas. Guanacaste. Costa Rica. 10 p.
- Morales, J. 2002. Evaluación de la ganancia de peso de toretes en pasturas de *Brachiaria brizantha* CIAT 26110 en el trópico seco de Costa Rica. Informe Final. E.E.E.J. MAG. Cañas. Guanacaste. Costa Rica. 41 p.
- Morales, J. 2003. Evaluación de la ganancia de peso de toretes en pasturas de *Brachiaria brizantha* cv CIAT 26110 en el trópico húmedo de Costa Rica. Informe Final. E.E. Los Diamantes. MAG. Guápiles, Costa Rica. 23 p.
- Morales, J; Rivas, S; Acuña, V; Cruz, A; Aguilar, I. 2004. Efecto del heno de calidad, la proteína y la grasa sobre-pasante, en la ganancia diaria de peso de toretes estabulados. Informe Final. E.E.E.J.N. MAG Cañas. Guanacaste. Costa Rica. 17 p.
- Morales, J; Acuña, V. 2005. Comparación de heno de maní forrajero (*Arachis pintoi*) asociado con pasto transvala (*Digitaria decumbens*) producido bajo riego y heno comercial de pasto transvala, producido en seco, en la ganancia de peso de toretes estabulados. Informe Final. E.E. E.J.N. INTA. Cañas. Guanacaste. Costa Rica. 36 p.
- Morales, J; Hidalgo, C; Cruz, A. 2007. Comparación de la calidad del heno de pasto transvala (*Digitaria decumbens* cv. transvala) producido bajo riego, heno de pasto transvala comercial y pacas de paja de arroz, mediante la ganancia de peso de toretes estabulados. Alcances Tecnológicos. Volumen 5, Costa Rica. 10 p.
- Morales, J; Orozco, E; Arronis, V; Cruz, A. 2011. Ganadería intensiva de cría bovina de carne. Separata. INTA. San José. Costa Rica. 6 p.

Morales, J. 2017. Plataforma regional de innovación para la ganadería sostenible. Corpoica-INTA-IDIAF-BID. Informe Final. Archivos Técnicos. INTA, Costa Rica. 53 p.

Morales, J; Cruz, A; Orozco, E; Brown, W; Vermandel T; Fink, G; Earnheart M; Jones, J; Williams R; Hobbs, D. 2018. Evaluación de la producción y la calidad de la carne en crías F1 Red Angus-Brahman y Charolais-Brahman. INTA. Costa Rica. 21 p.

Pérez, E. 2016. Ganado de carne cría, Finca MIS Las Lajitas. Informe Técnico. INTA -Fundecooperación. Cañas Dulces, Liberia, Costa Rica. 8 p.

Pérez, E. 2016. Carne. Engorde en Corral. Finca MIS-Bendiciones. Informe Técnico. INTA - Fundecooperación. Pérez Zeledón. Costa Rica. 9 p.

Pérez, E. 2017. Manual de manejo: sistemas intensivos sostenibles de ganadería de engorde. INTA. San José, Costa Rica. 43 p.

Pérez, E. 2017. Línea de base tecnológica para tres sistemas de ganadería intensiva sostenible. Proyecto PRGS. INTA. San José. Costa Rica. 198 p.

Rojas, A; Campos, C. 2015. Hacia sistemas intensivos en la producción de carne bovina: pastoreo con suplementación, semiestabulación y estabulación. CINA – UCR. Revista UTN 74:14 – 21.

Sánchez, M. 2007. Producción Animal. Sistemas Intensivos. Táchira. Venezuela. 21 p.

Simons, E. 2015. Engorde a corral. Novillos ganan 1 kg de peso al día Revista Virtual Contexto Ganadero (en línea). Consultado 20 may. 2020. Disponible en www.contextoganadero.com.

NOTA TÉCNICA

EXPERIENCIA DEL INTA EN LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE UN HÍBRIDO DE MAÍZ (*ZEAMAYS L.*)

Nevio Bonilla Morales¹, Josselyne Aguilar López²

RESUMEN

Experiencia del INTA en la producción de semilla de un híbrido de maíz (*Zea mays L.*). La producción de híbridos de maíz es una actividad que se realiza en las instituciones públicas de investigación y en la empresa privada de semillas, como respuesta a la demanda constante de nuevos materiales para los agricultores en muchos países. En el caso del INTA, a partir del año 2014, se llevó a cabo el desarrollo de un programa de producción de híbridos de maíz, considerando aspectos como: i) la experiencia técnica y administrativa en la producción de semilla de maíz desde los años 60; ii) el material genético disponible para tal efecto, ya que se cuenta con al menos cuatro **híbridos ya validados** en las zonas maiceras de Costa Rica y iii) la amplia experiencia profesional del recurso humano involucrado. En este sentido, se realizó la multiplicación de las líneas que componen el híbrido triple de maíz de grano blanco denominado Orosi, cuyo pedigrí es CML500/CML498//CML494. Dichas líneas fueron solicitadas al Centro Internacional de Mejoramiento en Maíz y Trigo (CIMMYT) con sede en Texcoco, México. El híbrido mencionado fue evaluado en Costa Rica durante los años 2010 y 2015 y se destacó por su óptimo desempeño en las zonas donde se evaluó. Posteriormente fue validado de 2015 a 2017 con igual resultado. En la actualidad, se cuenta con aproximadamente 200 kg de semilla producto del trabajo realizado en la Estación Experimental Enrique Jiménez Núñez (EEEJN), ubicada en Cañas, Guanacaste. Este documento pretende mostrar la experiencia generada al respecto y los resultados obtenidos durante el período mencionado.

Palabras clave: Líneas puras, caracterización, descriptores, cruzamientos, surco macho, surco hembra, desespigue.

Key words: Pure lines, characterization, descriptors, crosses, male furrow, female furrow, detasseling.

INTRODUCCIÓN

La semilla de buena calidad, producto de la investigación y desarrollo de híbridos, representa el insumo estratégico por excelencia que permite sustentar las actividades agrícolas, contribuyendo significativamente a mejorar su producción en términos de calidad y rentabilidad. No se puede desligar ese componente genético, es decir, el

híbrido del vehículo que lo transporta, la semilla. Al respecto, debe indicarse que una semilla de buena calidad por sí misma no garantiza un comportamiento satisfactorio en el campo, si no tiene a su vez el componente genético adecuado para responder ante determinada condición.

1 Encargado de investigación en el cultivo de maíz. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Costa Rica. Contacto: nbonilla@inta.go.cr.

2 Estudiante de pregrado. Universidad Técnica Nacional (UTN), Sede Cañas. Contacto: jaguilarlopez@hotmail.com

La buena calidad de la semilla no es sólo responsabilidad de quien la produce, sino también de los programas de mejora genética, que son los encargados de brindar la semilla genética o básica de las nuevas variedades. Es labor importante de la parte estatal (Ministerios de Agricultura, Institutos de Investigación y Universidades) suministrar los documentos oficiales con la descripción básica de cada variedad y el personal técnico para la capacitación, producción y fiscalización del proceso de producción de semilla.

Ciertamente, el proceso técnico y metodológico que permite ofrecer un flujo constante de semilla a los productores de maíz requiere de una importante inversión de tiempo, recursos económicos y humanos. Sin embargo, la evidencia en los países de la región mesoamericana indica que con los ajustes pertinentes se puede realizar un abordaje adecuado, a fin de contar con un programa de producción de híbridos que considere la magnitud de este, tanto en volumen como en recursos a invertir.

Existen numerosos trabajos que documentan la importancia de los recursos genéticos del maíz, en este sentido la estimación de la diversidad genética en los bancos de germoplasma es un gran indicador para los programas de mejoramiento genético sobre todo en el germoplasma tropical de maíz. Evidentemente dicha estimación debe contemplar variedades criollas o nativas, de polinización libre y líneas de mejoramiento o híbridos. Los alelos únicos que se pudieran encontrar en cada grupo de germoplasma mencionado representan una gran reserva de recursos genéticos desconocidos para el fitomejoramiento del maíz e implicaciones para un programa de desarrollo de nuevos cultivares (Warburton *et al.* 2008; Alimari *et al.* 2016).

Además, la investigación en maíz en el trópico se ha iniciado más tarde, ha tenido un proceso más lento, los recursos y facilidades han sido limitados y finalmente que la base genética estrecha con que se ha trabajado ha limitado a los diferentes programas nacionales. Existen dos factores que explican los logros de los programas de maíz más exitosos: el germoplasma desarrollado y adoptado por los agricultores para uso en sus fincas y la disponibilidad de semillas de alta calidad (Alimari *et al.* 2016; Wang *et al.* 2017).

El factor variación o variabilidad es muy importante para un fitomejorador. Las metas fundamentales en el fitomejoramiento son alto rendimiento y calidad del producto, ampliar la adaptabilidad al entorno climático y edáfico y la tolerancia o la resistencia a plagas y enfermedades de importancia económica de un cultivo determinado. Para lograr eso se utilizan las variaciones genéticas entre plantas, de manera que el éxito en una adaptación adecuada a las condiciones agroecológicas está circunscrito al rango que abarca la base genética medida como variabilidad genética. Todo esto implica que dicha variabilidad es la fuente para abordar muchos problemas en fitomejoramiento y que se encuentra dentro de los recursos fitogenéticos (Ulukan 2011; Rotar *et al.* 2015; Wang *et al.* 2017).

El rendimiento (producción de grano seco por unidad de superficie) es la característica más importante en la mejora de maíz, así mismo, es el objetivo más complejo con que tiene que trabajar el mejorador ya que está determinado por la expresión e interacción de numerosos genes que afectan todos los procesos vitales de la planta. La adaptación es una característica igualmente compleja dado que considera muchas y diferentes respuestas de la planta (Romay *et al.* 2008).

El poder identificar el germoplasma de interés a mejorar, es un componente clave de cualquier esfuerzo de mejoramiento participativo por sus implicaciones en los impactos sobre el bienestar social y la diversidad genética. Cuando la selección de germoplasma se basa sólo en la perspectiva de los especialistas en recursos genéticos, se pueden ignorar los rasgos y los materiales que son importantes para cultivar en las comunidades. Estas selecciones pueden ser menos valiosas para los agricultores, lo que limita el impacto de los esfuerzos de mejoramiento participativo en sus medios de vida. Sin embargo, los resultados también indican que confiar únicamente en las perspectivas de los hogares agrícolas puede conducir a menor diversidad. La elección de las poblaciones basadas únicamente en cualquiera de las perspectivas implica un costo social, ya sea en términos de diversidad o en términos de bienestar de los agricultores (Cervantes 2015; Rotar *et al.* 2015; Alimari *et al.* 2016).

El desarrollo de variedades o híbridos superiores de maíz puede lograrse siguiendo diferentes estrategias o métodos de selección en el proceso de mejoramiento genético. Entre ellos pueden citarse: a) selección por pedigree o genealógica, b) selección recurrente; c) selección recurrente recíproca; d) selección recurrente utilizando marcadores moleculares, entre otros. Otra forma de conceptualizar las metodologías de mejoramiento sería en dos grupos: (a) esquemas de selección recurrente para mejoramiento de las poblaciones y (b) desarrollo de líneas puras e híbridos (Wang *et al.* 2017).

Uno de los aspectos relevantes en el manejo de un programa de mejoramiento genético lo constituye, la ampliación oportuna de la base genética del germoplasma a disposición de los fitomejoradores. Para este proceso, se requiere contar con relevantes y suficientes datos de campo (agronómicos, morfológicos, génicos, fisiológicos y moleculares). Estos datos deben contar con un amplio y contrastante rango de ambientes en los cuales se han evaluado los genotipos de interés. De esta manera, los procesos de introgresión del germoplasma serán más efectivos aprovechando al máximo posible las habilidades combinatorias general y específica y los rasgos de adaptación del germoplasma de interés, para así determinar los sintéticos y las líneas más promisorias (Reif *et al.* 2010; Sher *et al.* 2012, Abuali *et al.* 2012; Rotar 2015; Zhang *et al.* 2015).

La liberación de híbridos modernos de maíz, tolerantes a factores adversos, bióticos

y abióticos, contribuye a reducir las pérdidas poscosecha. Un adecuado entendimiento de los aspectos fisiológicos correlacionados con el rendimiento y la incorporación de índices de selección más eficientes en las metodologías de mejoramiento para ambientes adversos, han mejorado las técnicas de selección (Córdova *et al.* 2002; Sayadi *et al.* 2016; Ziyomo *et al.* 2012; Cooper *et al.* 2014; Dordas *et al.* 2015; Papathanasiou *et al.* 2015; Meseka *et al.* 2013).

La calidad de la semilla híbrida reside principalmente en los métodos de producción, tanto en el cumplimiento a las normas técnicas que aseguran la calidad, como en la implementación de un manejo agronómico adecuado. Mientras la producción de semilla de las variedades de polinización abierta es relativamente directa, la producción de semilla híbrida requiere prácticas de campo adicionales que son vitales para el éxito.

El objetivo general fue consolidar el proceso de multiplicación y cruzamiento de un híbrido triple de maíz de grano blanco proveniente de las líneas CML 500, CML 498 y CML 494. Los objetivos específicos fueron: 1) Realizar la multiplicación de las líneas CML 500, CML 498 y CML 494 en lotes aislados; 2) Establecer lotes de cruzamiento de las líneas que conforman un híbrido triple de maíz de grano blanco tanto en etapa intermedia como en la conformación final; 3) Realizar una descripción de los caracteres indicativos de cada línea, del híbrido intermedio y del híbrido triple final.

MATERIALES Y MÉTODOS

La producción de semilla híbrida necesariamente requiere al menos la cruce de un progenitor femenino con uno masculino en campos aislados. De manera que, desde el inicio de la producción de semilla híbrida la identidad y el arreglo de las poblaciones progenitoras determina el resultado final.

En el caso particular de este trabajo, el híbrido Orosi está compuesto por una combinación específica de tres líneas progenitoras, donde las líneas

CML 500, CML 498 y CML 494 son respectivamente un progenitor hembra inicial (receptora de polen) y dos progenitores macho (proveedores de polen). Así mismo con un híbrido intermedio producto de la hibridación de CML500 y CML 498 que resulta el productor de la semilla del híbrido triple al ser cruzado con la línea CML 494.

El manejo de campo de ambos progenitores es también determinante y requiere trabajo para el

momento de la siembra, la eliminación de plantas fuera de tipo, la remoción de las flores masculinas de la hembra antes de la liberación del polen, separar la cosecha de la semilla de la hembra y un cuidadoso desembolso y procesamiento de la semilla para mantener la calidad de esta.

El proceso mencionado tiene una naturaleza secuencial y dependiente lo que significa que cualquier error en las etapas tempranas tiene un impacto significativo en las etapas siguientes y los errores o problemas importantes pueden conducir a un fracaso completo o la no aprobación del lote de semilla como tal.

Tanto para la producción de semilla híbrida de híbridos triples y dobles, se debe producir la cruce simple respectiva antes que se realice la cruce híbrida final. El número de producciones de aislamiento de componentes para las distintas clases de semillas para cada tipo de híbrido varía del 5 al 7.

Se establecieron lotes de multiplicación de semilla de las líneas CML 500, CML 498 y CML 494 en lotes aislados partiendo de 50 semillas por cada material. Este proceso se realizará en dos ocasiones para cada línea.

Posteriormente se estableció un lote de cruzamiento para la conformación del híbrido intermedio donde se establecerán las líneas CML 500 (línea receptora) y CML 498 (línea donadora de polen) en un arreglo 4:2, es decir dos surcos de la línea CML 498 flanqueando cuatro surcos de las líneas CML 500, de manera que se asegure la polinización de cada bloque del arreglo mencionado. De igual manera para la producción del híbrido triple se estableció un lote de cruzamiento, donde el híbrido intermedio (receptor) y la línea CML 494 (donador de polen) en un arreglo 4:2, dos surcos del donador flanqueando cuatro surcos del receptor. A continuación, se presenta una figura que ejemplifica dicho arreglo para ambos casos mencionados:

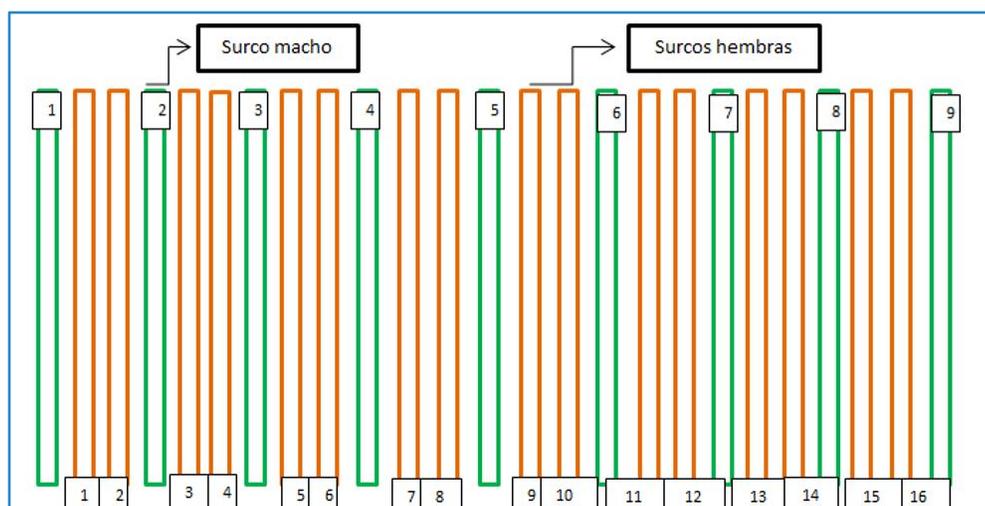


Figura 1. Plano de la distribución de los surcos hembra y macho para el cruzamiento de las líneas CML 500 y CML 498 que conforman la cruce intermedia del híbrido y para el cruzamiento del híbrido intermedio y la línea CML 494. Orosi. 2017.

En el lote de cruzamiento tanto del híbrido intermedio como del híbrido triple final, se realizarán las prácticas agronómicas de manejo del cultivo del maíz de manera conocida, de acuerdo con las recomendaciones técnicas del INTA. La siembra de los surcos hembra se realizó dos días antes que los surcos macho, de manera que se facilite tanto la labor de desespigue como

la polinización cruzada entre macho y hembra. El desespigue se realizó previo al despliegue o aparición de la hoja bandera (última hoja previo a la floración) en los surcos hembra, eliminando en este caso la flor masculina (superior) de los mismos. De esta forma, el cruzamiento sería entre los surcos macho y hembra únicamente.

Al final del ciclo de cultivo (entre madurez fisiológica y secado de la planta) se cosecharon los lotes de cruzamiento para el posterior acondicionamiento de la semilla producida. Se realizó un día de campo a fin de mostrar el híbrido final en julio-agosto 2018 y la liberación del híbrido triple CML 500 //CML 498/CML 494 en diciembre 2018. Así mismo se elaboró un trifoliado donde se indican las características del híbrido triple.

Datos del lote para la descripción de las tres líneas

Se establecieron tres lotes donde se realizó la descripción de cada una de las líneas de maíz CM500, CM498 y CM494 cuyas dimensiones fueron 50,3 m de ancho, 49,6 m de largo con un total de área de 2494.8m² para cada lote. Cada lote constó de 20 surcos para cada línea y se sembraron de forma escalonada para evitar el cruzamiento entre los mismos.

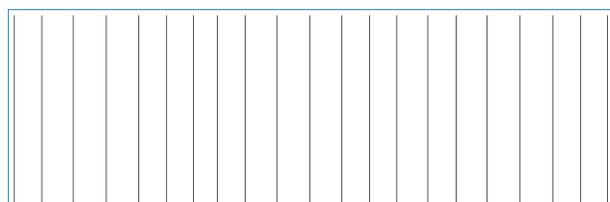


Figura 2. Plano de campo de los lotes para la descripción de las líneas CML 500, CML 498 y CML 494 que conforman el híbrido Orosi. 2018.

Para tomar las muestras representativas de cada lote, éste se dividió en tres bloques, el primero y el tercer bloque se eligieron para recolectar los datos de la caracterización de cada línea. El trabajo consistió en hacer la descripción varietal a una muestra de 116 plantas, por lo tanto, se eligieron 56 y 60 plantas de cada línea, para el primero y tercer bloque respectivamente, en el segundo bloque que corresponde a los surcos 08 al 14 y se seleccionaron 28 plantas a evaluar hasta terminar el ciclo, por surco se tomaron siete plantas a evaluar siempre.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1, se resumen los datos de los descriptores que se caracterizaron para cada una de las etapas de desarrollo del híbrido de grano blanco Orosi. Es importante indicar que, de acuerdo con los resultados obtenidos, se seleccionaron los siguientes descriptores como indicativos de la representatividad del híbrido y por ende como criterio para su identificación en un campo de semilla, esto a efectos de inscribir un lote para la producción de semilla de dicho material. Los descriptores seleccionados cumplen con la característica de mostrar un valor promedio alto (superior a 85) en la frecuencia o porcentaje de ocurrencia en la muestra de plantas evaluadas (ver cuadros y figuras de cada descriptor). Debido a este proceso de conformación del híbrido triple Orosi, se cuenta con 200 kg de semilla.

Descriptores indicativos

- Primera hoja (longitud, ancho, forma de la punta)
- Ángulo de inserción de las hojas debajo de la mazorca superior
- Ángulo entre la lámina y el tallo
- Forma característica de la hoja
- Ondulación del margen laminar de la hoja
- Tallo (número de hijuelos por planta, longitud media de entrenudos inferiores, diámetro del tallo, longitud media de entrenudos superiores)
- Grado de zigzagueo
- Coloración de la lámina

- Coloración de la vaina en las tres primeras hojas de la base del tallo
- Coloración de la vaina en la hoja de mazorca principal
- Coloración de la aurícula, pubescencia sobre el margen de la vaina
- Floración masculina: espiga, longitud del pedúnculo
- Longitud del eje principal de la espiga
- Ángulo de la espiga
- Posición de ramas laterales
- Número de ramas laterales
- Densidad de espiguilla
- Coloración por antocianinas en la base de las glumas
- Cubrimiento por la hoja bandera
- Floración femenina: Jilote, coloración por antocianinas en los estigmas, longitud de ramas laterales
- Longitud de planta
- Altura de mazorca
- Relación de altura de la mazorca superior y altura de planta
- Diámetro de la mazorca
- Arreglo de hileras de granos en la mazorca
- Número de hileras de granos de la mazorca
- Número de granos por hilera de la mazorca
- Tipo de grano de la mazorca
- Forma de la corona del grano
- Color del grano
- Color dorsal del grano
- Color del endospermo del grano
- Coloración por antocianinas en las glumas del olote
- Intensidad de la coloración por antocianinas en las glumas del olote

Cuadro 1. Estado de los descriptores del híbrido Orosi. Cañas, Guanacaste. 2017-2018.

#	Descriptor	Condición	Número	Descriptor	Condición
1	Primera hoja: Coloración de la vaina por antocianinas	Ausente	31	Número de ramas laterales primarias de la espiga	Alto
2	Longitud primera hoja	Muy larga	32	Ramas secundarias de la espiga	Presente
3	Ancho primera hoja	Muy Ancha	33	Densidad de espiguillas de la espiga	Media
4	Relación largo /ancho primera hoja	Muy grande	34	Coloración por antocianinas en la base de las glumas de la espiga	Débil
5	Forma de la punta primera hoja	Puntiaguda	35	Coloración por antocianinas en las glumas de la espiga	Ausente o muy débil
6	Angulo de inserción de las hojas debajo de la mazorca superior	Semirrecto	36	Coloración por antocianinas en las anteras de la espiga	Débil
7	Angulo entre la lámina y el tallo de las hojas	Medio	37	Cubrimiento por la hoja bandera de la espiga	Poca
8	Angulo de inserción de las hojas por arriba de la mazorca superior	Semirrecto	38	Floración femenina: Jilote	Trópico: 61-65
9	Forma característica de la hoja	Ligeramente curvada	39	Coloración por antocianinas en los estigmas	Ausente

#	Descriptor	Condición	Número	Descriptor	Condición
10	Ondulación de la margen laminar	Fuerte	40	Intensidad de la coloración por antocianinas en los estigmas	Muy débil a débil
11	Coloración por antocianinas en raíces adventicias	Débil	41	Desarrollo de filodios del jilote	Ausentes o muy pocos
12	Número de hijuelos por planta : Tallo	Ausentes	42	Longitud de las ramas laterales de la espiga	Muy larga
13	Longitud media de entrenudos inferiores: tallo	Muy corta	43	Longitud de la planta	Baja
14	Diámetro del tallo	Muy pequeño	44	Altura de la mazorca	Muy Baja
15	Longitud media de entrenudos superiores : tallo	Muy corta	45	Relación de altura de la mazorca superior y altura de planta	Muy alta
16	Grado de zigzagado del tallo	Ausente o muy ligero	46	Ancho de la lámina foliar	Media
17	Coloración por antocianinas en nudos	Ausente o muy débil	47	Número de mazorcas por planta	Muy variable
18	Presencia de arrugas longitudinales en la hoja	Ausentes	48	Longitud del pedúnculo	Muy variable
19	Coloración de la lámina de la hoja	Verde oscuro	49	Longitud de la mazorca	Largo
20	Coloración de la vaina en las tres primeras hojas de la base del tallo	Verde oscuro	50	Diámetro de la mazorca	Muy grande
21	Coloración por antocianinas en la vaina, en la parte media de la planta	Ausente o muy débil	51	Forma de la mazorca	Cónica-Cilíndrica
22	Coloración de la vaina en la hoja de la mazorca principal en la hoja	Verde	52	Arreglo de hileras de granos en la mazorca	Recta
23	Coloración de la aurícula de la hoja	Verde claro	53	Número de hileras de granos de la mazorca	Pocas
24	Pubescencia sobre el margen de la vaina	Media	54	Número de granos por hilera de la mazorca	Pocos
25	Floración masculina: Espiga	Trópico 61-65 días	55	Tipo de grano de la mazorca	Intermedio
26	Longitud del pedúnculo de la espiga	Corta	56	Forma de la corona del grano	Convexa
27	Longitud de la espiga	Larga y muy larga	57	Color del grano	Blanco cremoso
28	Longitud del eje principal de la espiga	Larga	58	Color dorsal del grano	Blanco cremoso
29	Ángulo de la espiga	Muy compacta	59	Color del endospermo del grano	Blanco
30	Posición de ramas laterales de la espiga	Rectilíneas	60	Coloración por antocianinas en las glumas del olate	Ausente
			61	Intensidad de la coloración por antocianinas en las glumas del olate	Débil

Los descriptores en **negrita** indican que son indicativos para el híbrido Orosi. Los indicados en color rojo son aquellos que se presentan en este escrito como ejemplo, ya que representan un alto número.

CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA DEL HÍBRIDO TRIPLE DE MAÍZ DE GRANO BLANCO (CML500/CML498//CML494)

Existen publicaciones técnicas que describen el procedimiento para la caracterización de variedades e híbridos de maíz con fines para su registro en las listas de variedades comerciales. Esta caracterización se ha realizado con base en los descriptores estandarizados al respecto. (SAGARPA 2010).

Primera hoja: Longitud



Figura 3. Descriptor longitud de la primera hoja del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 2. Distribución de valores para longitud de la primera hoja del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del I bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del II bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Muy corta	0	0	0	1.75	0	3.33	0.87
Corta	0	0	0	0	0	0	0
Media	0	0	0	1.75	0	3.33	0.875
Larga	5.26	25.92	3.33	0	0	0	2.63
Muy Larga	94.73	92.59	96.66	96.49	100	93.33	95.61

*Se realizaron a los 14 días de la germinación de la planta.

Primera hoja: Ancho



Figura 4. Descriptor ancho de la primera hoja del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 3. Distribución de valores para ancho de la primera hoja del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del I bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Muy estrecha	0	0	0	0	0	0	0
Estrecha	0	0	0	0	0	0	0
Media	3.51	0	6.66	5.26	3.70	3.33	3.51
Ancha	12.28	18.51	6.66	12.28	14.81	6.66	11.40
Muy ancha	84.21	81.41	86.66	85.96	77.77	90.00	84.21

*Se realizaron a los 14 días de la germinación de la planta.

Tallo: Diámetro



Figura 5. Descriptor Diámetro del tallo para el híbrido Orosi. Cañas, 2019.

Cuadro 4. Distribución de valores para diámetro del tallo para el híbrido Orosi, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Muy pequeña menor a 10.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Pequeña 10.1-15.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Media 15.1-20.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grande 20.1-25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Muy grande mayor a 25.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 65-75 días de crecimiento de la planta.

Tallo: Grado de zigzag

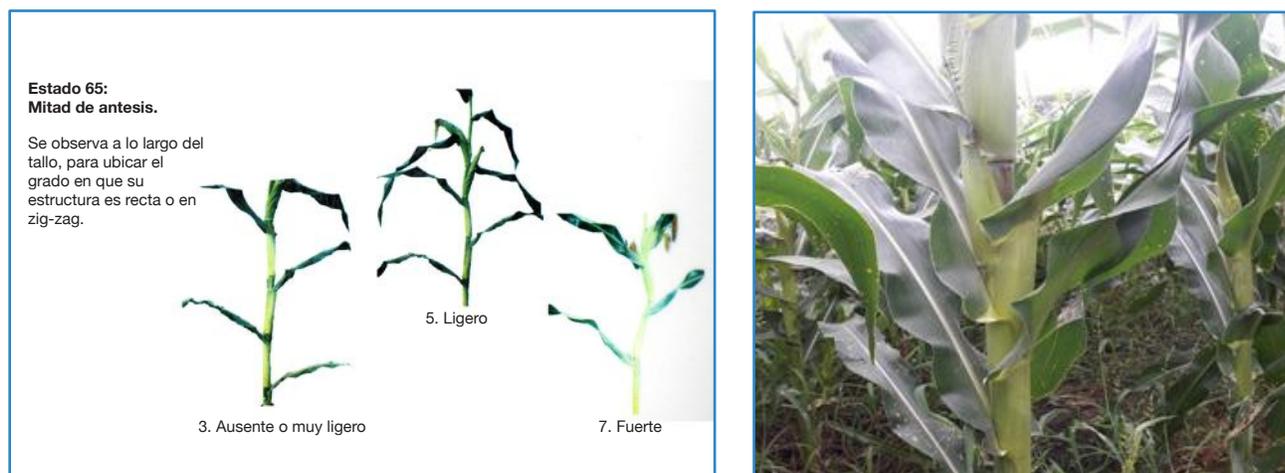


Figura 6. Descriptor grado de zigzag del tallo del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 5. Distribución de valores para zigzag del tallo del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Ausente o muy ligero	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ligero	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fuerte	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 65 a los 65 días del crecimiento de la planta.

Espiga: Floración masculina

Estado 65:
Mitad de antesis.

(*) (d)

Antesis. Periodo en que se libera el polen, por dehiscencia de las anteras.

Se observa el tercio medio del eje principal de la espiga.

Indicar el número de días desde la siembra hasta la fecha en que el 50% de las plantas que se encuentran en atesis; considerando la zona principal de adaptación.

T= Trópico BZT = Bajío y Zona de Transición
VA = Valles Altos VMA = Valles Muy Altos

	T/T	BZT/ITZ	VA/H	VMA/VH
1. ≤ 45	≤ 55	≤ 65	≤ 75	
2. 46-50	56-61	66-72	76-83	
3. 51-55	62-67	73-79	84-91	
4. 56-60	68-73	80-86	92-99	
5. 61-65	74-79	87-93	100-107	
6. 66-70	80-85	94-100	108-115	
7. 71-75	86-91	101-107	116-123	
8. 76-80	92-97	108-114	124-131	
9. ≥ 80	≥ 97	≥ 114	≥ 131	



Figura 7. Descriptor para la floración masculina de la planta del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 6. Distribución de valores para la floración masculina de la planta del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
≤ 45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
46-50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
51-55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56-60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61-65	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
66-70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71-75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76-80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

* Se realizaron a los 65 días del crecimiento de la planta.

Espiga: Longitud del pedúnculo

Estado 65:
Mitad de antesis.

Longitud (cm) entre el nudo de la hoja bandera y la rama lateral más baja de la espiga.

1. Muy corta ≤ 1.0
3. Corta 1.1-12.0
5. Media 12.1-20.0
7. Larga 20.1-28.0
9. Muy larga > 28.0



Figura 8. Descriptor para longitud del pedúnculo de la espiga del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 7. Distribución de valores para longitud del pedúnculo de la espiga del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Muy corta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Corta	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Media	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Larga	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Muy larga	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 65 días del crecimiento de la planta.

Espiga: Densidad de espiguilla



Figura 9. Descriptor de la densidad de espiguillas de la espiga en el híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 8. Distribución de valores para la densidad de espiguillas de la espiga del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Laxa	0.00	0.00	N. D.	0.00	0.00	N. D.	0.00
Media	100.00	100.00	N. D.	100.00	100.00	N. D.	100.00
Densa	0.00	0.00	N. D.	0.00	0.00	N. D.	0.00

*Se realizaron a los 65 días del crecimiento de la planta.

Espiga: Coloración por antocianinas en las glumas

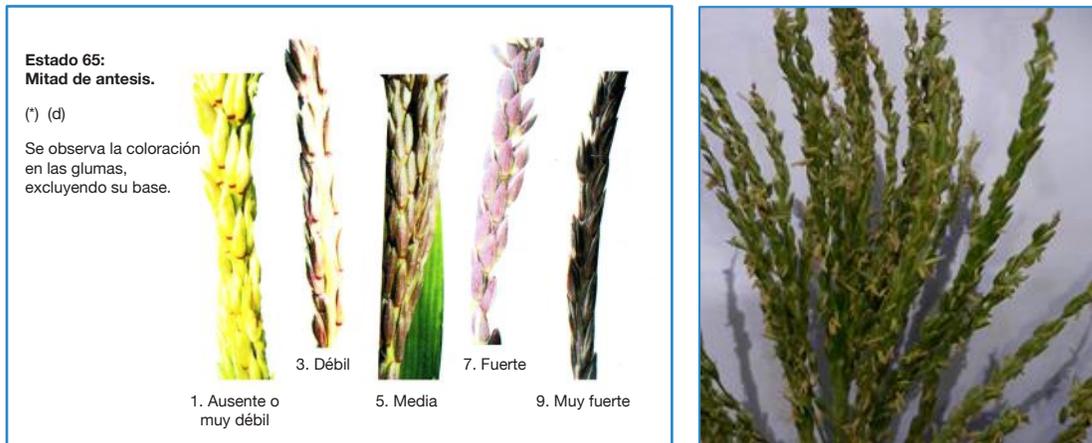


Figura 10. Descriptor para coloración por antocianinas en las glumas de la espiga del híbrido Orosi. Cañas, 2014.

Cuadro 9. Distribución de valores para la coloración por antocianinas en las glumas de la espiga del híbrido Orosi. Cañas, 2014.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Ausente o muy débil	100.00	100.00	N. D.	100.00	100.00	N. D.	100.00
Débil	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00
Media	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00
Fuerte	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00
Muy fuerte	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00

*Se realizaron a los 71 días del crecimiento de la planta.

Jilote: Floración femenina

Estado 65: Mitad de antesis. (e)	T	BZT	VA	VMA	Número de días desde la siembra hasta la fecha en que el 50% de las plantas que presenta estigmas de más de 1 cm de longitud; considerando la zona principal de adaptación.
	1. ≤ 45	≤ 55	≤ 65	≤ 75	
	2. 46-50	56-61	66-72	76-83	
	3. 51-55	62-67	73-79	84-91	
	4. 56-60	68-73	80-86	92-99	
	5. 61-65	74-79	87-93	100-107	
	6. 66-70	80-85	94-100	108-115	
	7. 71-75	86-91	101-107	116-123	
	8. 76-80	92-97	108-114	124-131	
	9. ≥80	≥97	≥114	≥131	

T= Trópico
BZT = Bajío y Zona de Transición
VA = Valles Altos
VMA = Valles Muy Altos

Figura 11. Descriptor para floración femenina del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 10. Distribución de valores para la floración femenina del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
≤45	0.00	N. D.	0.00	0.00	N. D.	0.00	0.00
46-4	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00
51-55	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00
56-60	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00
61-65	100.00	N.D.	100.00	100.00	N.D.	100.00	100.00
66-70	0.00	N. D.	0.00	0.00	N. D.	0.00	0.00
71-75	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00
76-80	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00
>80	0.00	N.D.	0.00	0.00	N.D.	0.00	0.00

*Se realizaron a los 65 días del crecimiento de la planta.

Jilote: Coloración por antocianinas en los estigmas

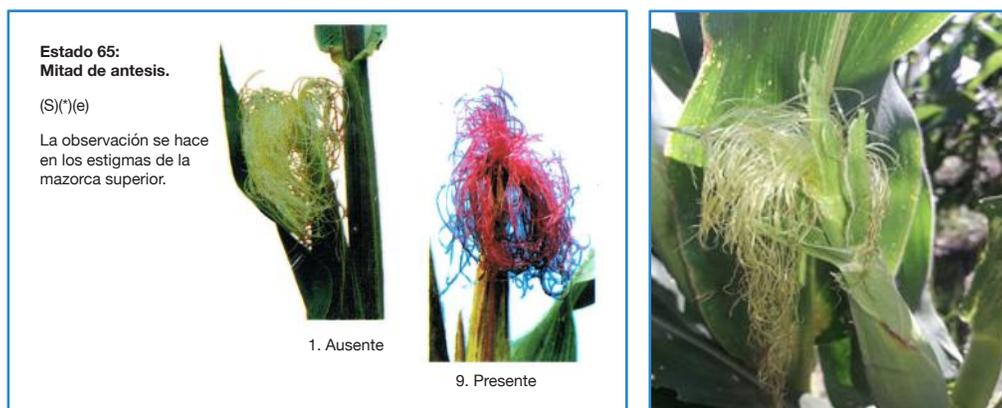


Figura 12. Descriptor para la coloración por antocianinas en los estigmas del híbrido Orosi. Cañas, 2018

Cuadro 11. Distribución de valores para la coloración por antocianinas en los estigmas del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje de toda la plantación
Ausente	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Presente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 71 días del crecimiento de la planta.

Mazorca: Diámetro



Figura 13. Descriptor para diámetro de la mazorca del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 12. Distribución de valores para diámetro de la mazorca del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras
Muy Pequeño ≤ 4.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pequeño 4.1-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Media 5.1-6.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grande 6.1-7.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Muy grande > 7.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

*Se realizaron a los 92 días del crecimiento de la planta.

Mazorca: Forma



Figura 14. Descriptor para forma de la mazorca del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 13. Distribución de valores para forma de la mazorca del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras
Cónica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cónica cilíndrica	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Cilíndrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 92 días del crecimiento de la planta.

Mazorca: Tipo de grano

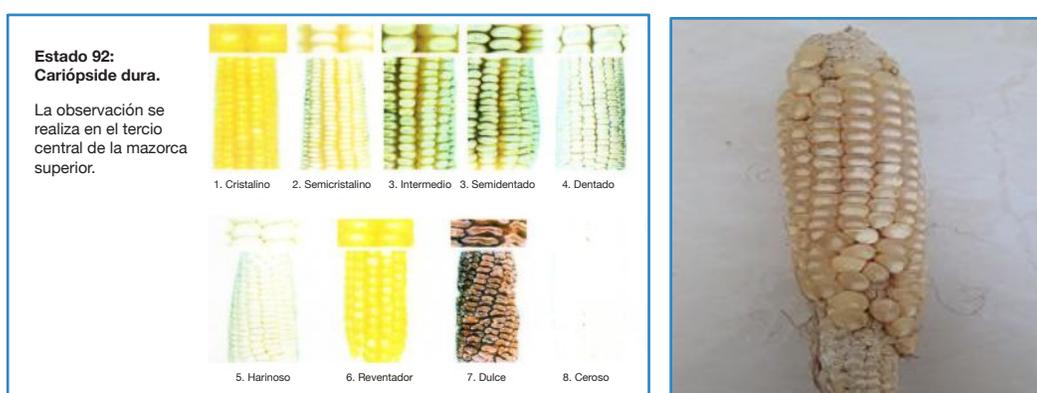


Figura 15. Descriptor para tipo de grano de la mazorca del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 14. Distribución para tipo de grano de la mazorca del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras
Cristalino	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Semicristalino	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Intermedio	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Semidentado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dentado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Harinoso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Reventado	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dulce	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ceroso	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 92 días del crecimiento de la planta.

Mazorca: Coloración por antocianinas en las glumas del olote

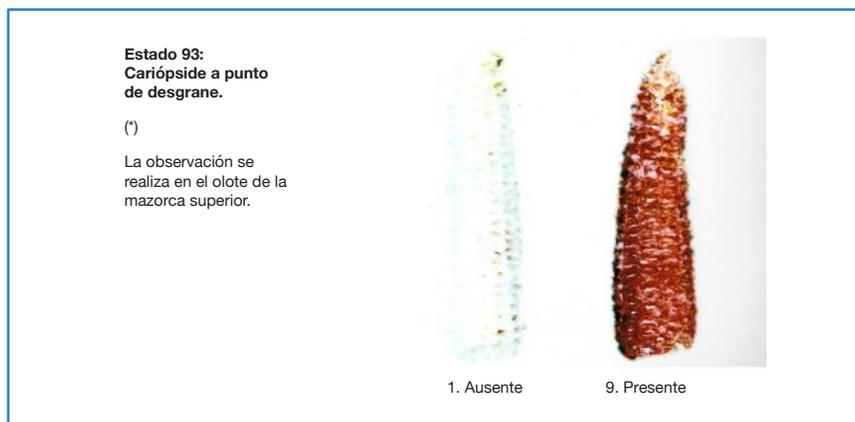


Figura 16.Descriptor para coloración por antocianinas en las glumas del olote del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Cuadro 15.Distribución de valores para coloración por antocianinas en las glumas del olote del híbrido Orosi. Cañas, 2018.

Caracterización	Porcentaje general del primer bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras	Porcentaje general del segundo bloque	Porcentaje en machos	Porcentaje en hembras
Ausente	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Presente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Se realizaron a los 92 días del crecimiento de la planta.

Los descriptores indicativos para el híbrido CML500/CML498//CML494, denominado Orosi son:

- **Primera hoja:** longitud, ancho, forma de la punta
- **Hojas:** ángulo de inserción de las hojas debajo de la mazorca superior, ángulo entre la lámina y el tallo
- **Hoja:** Forma característica de la hoja; ondulación del margen laminar de la hoja; coloración de la lámina, de la vaina en las tres primeras hojas de la base del tallo, de la vaina en la hoja de mazorca principal, de la aurícula, pubescencia sobre el margen de la vaina.
- **Tallo:** número de hijuelos por planta, longitud media de entrenudos inferiores, diámetro del tallo, longitud media de entrenudos superiores), grado de zigzag.
- **Floración masculina: espiga:** longitud del pedúnculo, longitud del eje principal, ángulo de la espiga, posición de ramas laterales, número de ramas laterales primarias, densidad de espiguilla, coloración por antocianinas en la base de las glumas, cubrimiento por la hoja bandera.
- **Floración femenina:** Jilote, coloración por antocianinas en los estigmas, longitud de ramas laterales.
- **Planta:** longitud de planta, altura de mazorca, relación de altura de la mazorca superior y altura de planta,
- **Mazorca:** diámetro de la mazorca, arreglo de hileras de granos en la mazorca, número de hileras de granos de la mazorca, número de granos por hilera de la mazorca, tipo de grano de la mazorca,
- **Grano:** forma de la corona del grano, color del grano, color dorsal del grano, color del endospermo del grano, coloración por antocianinas en las glumas del olote, intensidad de la coloración por antocianinas en las glumas del olote.

LITERATURA CITADA

- Alimari, A; Abadi, N; Jarrar, S; Salameh, A. 2016. Yield performance and participatory evaluation of introduced improved durum wheat varieties in Palestine. *Agricultural Science, Engineering and Technology Research* 4(1):1-11.
- Abuali, AI; Abdelmulla, AA; Khalafalla, MM; Idris, AE; Osman, AM. 2012. Combining ability and heterosis for yield and yield components in maize (*Zea mays* L.) *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6(10):36-41.
- Cervantes, P. 2015. Potencial de germoplasma de maíz introducido al altiplano mexicano: valles altos centrales y mixteca alta de Oaxaca. Tesis Mag. Sc. Texcoco, México. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco. 126 p.
- Córdova, HS; Castellanos, S; Barreto, H; Bolaños, J. 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centroamérica: Logros y Estrategias hacia el 2000. *Agronomía Mesoamericana* 13(1):73-84.
- Cooper, M; Gho, C; Leafgren, R; Tang, T; Messina, C. 2014. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. *Journal of Experimental Botany* 65(21):6191-6204.
- Dordas, C; Gekas, F; Pankou, C; Ninou, E; Mylonas, I; Tsantarmas, K; Sinapidou, E; Lithourgidis, A; Sistanis, I; Petrevska, J; Papadopoulos, I; Zouliamis, P; Kargiotidou, A; Papathanasiou, F; Tokatlidis, I. 2015. Selection of inbred lines and their correspondent hybrids under ultra-spaced and highly dense at normal and water-stress conditions. *Procedia Environmental Sciences* 29:104-105.
- Meseka, S; Menkir, A; Ibrahim, A; Ajala, S. 2013. Genetic analysis of maize inbred lines for tolerance to drought and low nitrogen. *Jonares* 1:29-36.
- Paliwal, RL; Granados, G. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Roma, Italia. 376 p.
- Papathanasiou, F; Dordas, C; Gekas, F; Pankou, C; Ninou, E; Mylonas, I; Tsantarmas, K; Sistanis, I; Sinapidou, E; Lithourgidis, A; Petrevska, J; Papadopoulos, I; Zouliamis, P; Kargiotidou, A; Tokatlidis, I. 2015. The use of stress tolerance indices for the selection of tolerant inbred lines and their correspondent hybrids under normal and water-stress conditions. *Procedia Environmental Sciences* 29:274-275.
- Reif, JC; Fischer, S; Schrag, TA.; Lamkey, KR.; Klein, D; Dhillon, BS.; Utz, HF.; Melchinger, AE. 2010. Broadening the genetic base of European maize heterotic pools with US Cornbelt germplasm using field and molecular marker data. *Theoretical and Applied Genetics* 120:301-310.
- Romay, M; Malvar, R; Campo, L; Álvarez, A; Moreno González, J; Ordás, A.; Revilla, P. 2008. Climatic and Genotypic Effects for Grain Yield in Maize under Stress Conditions. *Crop Science* 50(1):51-58.
- Rotar, CD; Haş, I; Copândeian, A; Haş, VA. 2015. Local populations - Sources of germplasm in maize breeding. *Bulletin USAMV series Agriculture* 72(1):1-5.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2010. Segunda edición. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas y Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México, D.F. 96 p.
- Sayadi, A; Tu, J; Qiu, J; Liu, Z. 2016. Breeding for Drought Tolerance in Maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences* 7:1858-1870.
- Sher, H; Iqbal, M; Khan, K; Yasir, M; Rahman, H. 2012. Genetic analysis of maturity and flowering characteristics in maize (*Zea mays* L.). *Asian Pacific Journal Tropical Biomedicine* 2(8):621-626.
- Ulukan, H. 2011. The use of plant genetic resources and biodiversity in classical plant breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Soil and Plant Science* 61:97-104.
- Wang, H; Xu, C; Liu, X; Guo, Z; Xu, X; Wang, S; Xie, C; Li, WX; Zou, Ch; Xu, Y. 2017. Development of a multiple-hybrid population for genome-wide association studies: theoretical consideration and genetic mapping of flowering traits in maize. *Science Report* 7(40239).

Warburton, ML; Reif, JC; Frisch, M; Bohn, M; Bedoya, C; Xia, XC; Crossa, J; Franco, J; Hoisington, D; Pixley, K; Taba, S; Melchinger, AE. 2008 Genetic Diversity in CIMMYT Nontemperate Maize Germplasm: Landraces, Open Pollinated Varieties, and Inbred Lines. *Crop Science* 48:617–624.

Zhang, X; Lv, L; Lv, C; Guo, B; Xu, R. 2015. Combining ability of different agronomic traits and yield components in hybrid barley. *PLOS ONE* 10(6):1-9.

Zhang, X; Yong, H; Zhou, Z; Zhang, C; Lu, M; Sun, Q; Zhang, L; Li, M; Zhang, D; Weng, J; Hao, Z; Zhang, S; Wang, Z; Li, X. 2017. Heterosis and combining ability of seven maize germplasm populations. *Euphytica* 213:45.

Ziyomo, C; Bernardo, R. 2012. Drought Tolerance in Maize: Indirect Selection through Secondary Traits versus Genomewide Selection. *Crop Science* 53(4):1269–1275.

MINERALOGÍA DE LOS SUELOS EN LA ZONA PROTECTORA: “CERROS DE ESCAZÚ”

Carlomagno Salazar Calvo¹

RESUMEN

Mineralogía de los suelos en la zona protectora: “Cerros de Escazú”. En el año 2015 se realizó un estudio semi-detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras en la zona protectora “Cerros de Escazú”, por parte del equipo técnico de edafólogos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA), a solicitud del Área de Conservación Pacífico Central del Ministerio del Ambiente y Energía (ACOPAC-MINAE). La zona protectora mide 7.175 ha y está inmersa dentro de los cantones de Acosta, Mora, Santa Ana, Escazú, Alajuelita y Aserrí, todos de la provincia de San José. En la primera fase del estudio, los suelos fueron clasificados hasta el nivel de SubGrupo. En una segunda fase, por intercesión del entonces, Ministro del MINAE, Edgar Gutiérrez Espeleta se logró coordinar con el ICE para que colaboraran con el análisis de las muestras de suelo de las diferentes calicatas en el difractor de Rayos X y microscopio petrográfico de luz polarizada del Departamento de Ingeniería Geológica, perteneciente al área del Centro de Servicio y Diseño. Dicho estudio permitió clasificar los suelos hasta el nivel de familia mineralógica, de donde se obtuvieron diez unidades cartográficas y seis unidades edáficas.

Palabras clave: Escazú, Mineralogía, Rayos X, Petrografía, Suelos.

ABSTRACT

Mineralogy of soils in the protective area: “cerros de Escazú”. In 2015, a semi-detailed study of soils and land use capacity was carried out in the “Cerros de Escazú” protection zone, by the edaphologist’s technical team of the National Institute of Innovation and Transfer of Agricultural Technology (INTA), at the request of the Central Pacific Conservation Area of the Ministry of Environment and Energy (ACOPAC-MINAE). The protection zone covers an area of 7.175 ha and it is immersed between the cantons of Acosta, Mora, Santa Ana, Escazú, Alajuelita and Aserrí, all from the province of San José. In the first phase of the study, the soils were classified up to the SubGroup level. In a second phase, the minister of MINAE at the time, Edgar Gutiérrez Espeleta, interceded with the ICE so they could collaborate with the analisis of soil samples from the different test pits and, also run the samples in the X-ray diffractometer and in the polarized light petrographic microscope of the Geological Engineering Department, of to the Service and Design Center area. This study allowed the classification of the soils up to the mineralogical family level, where ten cartographic units and six edaphic units were obtained (Table 1).

Keywords: Escazú, Mineralogy, X-ray, Petrography, Soils.

1 Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA-Costa Rica. csalazar@inta.go.cr

INTRODUCCIÓN

La importancia de conocer las propiedades de las arcillas, o bien de la fracción gruesa de suelos con minerales cristalinos o paracristalinos, radica en que determinan muchas de las características químicas, físicas y microbiológicas y por ende todas las actividades que ocurren sobre y dentro del suelo.

Según Besoain (1985), las arcillas son las “condicionadoras de la fertilidad del suelo”, pues al presentar cargas negativas y positivas pueden adsorber cationes y en menor cantidad aniones y retener agua entre sus láminas. Así, al retener elementos como fósforo, nitrógeno y potasio definen la fertilidad potencial de los suelos en relación con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) y la alta o baja saturación de bases. Además, la importancia de las arcillas radica en que constituyen el asiento donde ocurren la mayoría de los procesos químicos de adsorción y retención de nutrimentos y su posterior liberación a la solución del suelo, donde pueden ser aprovechados por las plantas. Las arcillas también, influyen en importantes propiedades físicas de los suelos, como la capacidad de retención de agua, velocidad de infiltración, permeabilidad interna, conductividad hidráulica, adhesividad, plasticidad, contracción, expansión y los procesos de intercambio gaseoso que ocurren a nivel radicular (Alvarado *et al.* 2014).

Bornemisza (1969), citado por Alvarado *et al.* (2014) resume el conocimiento sobre mineralogía de arcillas en suelos de Centroamérica y Panamá y descubre solamente cinco trabajos realizados en Costa Rica. Hacia el 2012, Alvarado *et al.* (2014) mencionan solamente 82 trabajos sobre el tema de mineralogía de arcillas efectuados en Costa Rica.

Para determinar los minerales presentes en la fracción arcilla existen muchas técnicas, pero la más empleada en el mundo es la difracción con Rayos X con muestras en polvo de arcillas para los minerales cristalinos y por el conteo de granos en microscopio petrográfico de luz polarizada para la fracción gruesa del suelo (arena).

El método de rayos X se fundamenta en la arquitectura de las estructuras cristalinas y su distribución periódica de los átomos, iones o moléculas en una red tridimensional que se basa en distribuciones regulares separadas por distancias constantes y características, según sea el mineral predominante. La difracción en los cristales es una consecuencia de la disposición periódica de los átomos en los cristales. En un diagrama de difracción, estos espacios constantes se traducen en una distribución característica de máximos (picos) que permiten identificar cualitativamente el cristal. Así, esto hace posible la cuantificación del método, puesto que la intensidad de estos picos es proporcional al número de planos que difractan, es decir, a la concentración de una estructura específica (Besoain 1985). Cada cristal de arcilla tiene planos de átomos separados por distancias constantes, los cuales son propios para cada arcilla (Burt 2004).

Ubicación de la zona de estudio

La zona protectora Cerros de Escazú se ubica en el Valle Central de Costa Rica, tiene un área de 7.175 ha dentro de los cantones de Acosta, Mora, Santa Ana, Escazú, Alajuelita y Aserrí. Así dicha área se enmarca dentro de las coordenadas métricas 1.090.000-1.100.000 y 450.000-500.000 de la proyección CRTM-05 (Figura 1).

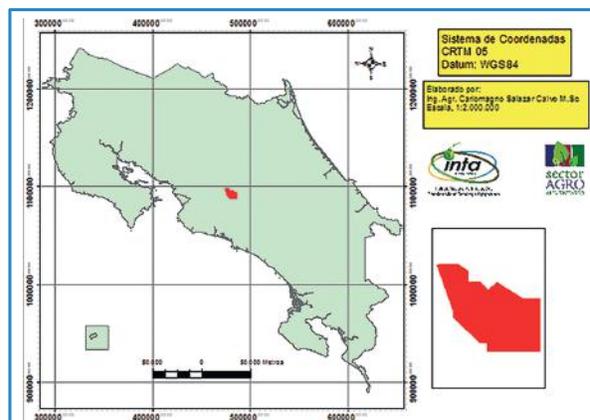


Figura 1. Ubicación de la zona protectora Cerros de Escazú, San José, Costa Rica, 2019.

Geología y geomorfología

En los cantones donde se ubica la zona protectora Cerros de Escazú se han realizado diversos estudios geológicos y geomorfológicos, entre los que destacan los relacionados con desastres naturales, como sismos, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas (González 1910, Dóndoli 1950, 1970, Peraldo y Montero 1999, Peraldo y Rojas 2000), estudios geológicos sobre relaciones estratigráficas y otros temas (Rivier 1979, Sprechman 1984, Denyer y Arias 1991, Hernández y Vargas 1992, Mora 1993), los estudios que definieron fallamiento y sismicidad en el área de estudio (Fernández y Montero 2002, Denyer *et al.* 2009), deslizamientos en el cantón de Escazú (Bonilla 2003, Arias *et al.* 2011, Soto *et al.* 2012), en Santa Ana y Escazú (Alvarado *et al.* 2002, Madrigal 2004, Chaves 2007), en Aserrí (Hernández 1994), o geomorfología (Madrigal y Rojas 1980, Hernández y Vargas 1992, Soto *et al.* 2012).

Del análisis de estos estudios, se concluye que dentro de la Zona Protectora se ubican siete formaciones geológicas (Figura 2), como las más importantes, de sur a norte y de este a oeste se encuentran las siguientes:

a. Formación Peña Negra

Compuesta por areniscas y lutitas negras y se le asigna una edad del Mioceno Medio (Denyer y Arias 1991, Hernández y Vargas 1992). En observaciones realizadas con microscopio se ha demostrado que las lutitas corresponden con lodolitas, además se ha identificado cuarzo, plagioclasas, piroxenos, óxidos de hierro, ortosa y clastos volcánicos que flotan en una matriz arcillosa.

b. Formación Cornubianitas de Escazú

Las Cornubianitas son rocas metamórficas de contacto, derivadas de la Formación Intrusivo de Escazú y una parte de las areniscas de la Formación Pacacua (Bergoeing 1998). Las

Cornubianitas son rocas que se caracterizan por ser duras, presentan fractura concoidea, que preservan estructuras primarias tales como estratificaciones, trazas de fósiles y bioturbación. Estas rocas se componen de una mineralogía mixta de sericita, calcita, muscovita, ceolitas y minerales esenciales fuertemente meteorizados (Hernández 1994). Denyer y Arias (1991) datan esta formación en el Mioceno Superior Terminal.

c. Formación La Cruz

Esta formación está compuesta de materiales volcánicos como: basaltos, andesitas y tobas (Denyer y Arias 1991). Según Krushensky (1972) y Berrangé y Whittaker (1977) la Formación se compone de tobas finas intercaladas con arenas volcánicas, aglomerados y brechas volcánicas, así como flujos de lava andesítica y basáltica, con sedimentos locales. Además, presenta intrusiones de numerosos plutones, diques, sill y stock, que varían de gabro a adamellita. Éstos autores mencionan que todas las litologías cercanas a estos intrusivos se encuentran alteradas hidrotermalmente, con silicificación, propilitización, kaolinización y priritización ampliamente distribuida. La mayor parte del área está representada por tobas lapílicas, conglomerados y brechas volcánicas y en menor grado lavas andesíticas y coladas de lava basálticas acomodadas horizontalmente.

d. Formación Intrusivo de Escazú

Según Obando (1983) el intrusivo corresponde con monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas. Bergoeing (1998) manifiesta que los Cerros de Escazú son el producto de un macizo intrusivo del Mioceno, que puede relacionarse con los intrusivos de la cordillera de Talamanca, por lo tanto, también se relacionan con el grupo comagmático y se identifican entre los principales materiales: granodioritas y monzodioritas. Este intrusivo se destaca por ser el más joven de Costa Rica, las dataciones con K/Ar de una granodiorita lo ubica en 5,3 M.a. (Bergoeing 1982).

e. Formación Grifo Alto

Según Hernández y Vargas (1992), y Soto *et al.* (2012), esta Formación se compone de lavas andesíticas con tonalidades grises y rojizas. Se encuentran rocas volcánicas como basaltos, dacitas y secuencias de flujos piroclásticos, con bloques lávicos y escoriáceos, así como depósitos ignimbríticos.

f. Formación Depósitos Aluviales y Coluviales

En esta formación destacan los abanicos coluvio-aluviales mencionados por Echandi (1981), los cuales están conformados por bloques de lavas andesíticas, intrusivos y corneanas, que se muestran sueltos, cementados o semiconsolidados, bien redondeados y poco meteorizados. Además, los coluvios están compuestos por materiales sedimentarios, ígneos y metamórficos, en donde son comunes los bloques duros de rocas intrusivas, cornubianitas incluidos en una matriz arcillosa y algunas veces arenosa.

g. Formación Pacacua

La Formación Pacacua ha sido estudiada por diversos autores: Castillo (1969), Rivier (1979), Denyer y Arias (1991), Hernández y Vargas (1992), y más recientemente Soto *et al.* (2012). Los estudios más recientes informan que esta Formación está compuesta por estratificaciones de areniscas vulcanoclásticas, tobas, tobetas y brechas de diversas granulometrías y colores, así como conglomerados fosilíferos. Además, presentan diques y sills de diabasa, así como troncos fósiles (Denyer y Arias 1991, Hernández y Vargas 1992). Según Soto *et al.* (2012), litológicamente esta formación corresponde con areniscas finas a medias de coloración morado grisáceo y

conglomerados brechosos polimícticos, con fragmentos de lava de tamaños milimétricos a centimétricos, los cuales flotan dentro de una matriz soldada de tonalidades verdosas. También afloran tobas y en algunos sectores, areniscas finas con un alto grado de silicificación, caracterizadas por su tonalidad rojiza y alta dureza.

En cuanto a la geomorfología, Denyer y Kussmaul (2000) mencionan que la Zona Protectora de los Cerros de Escazú se enmarca dentro de las formas originadas por la acción intrusiva. En donde destaca el macizo de Escazú y la loma del Alto de las Palomas, las cuales poseen laderas con pendientes fuertes, en muchos casos verticales, con divisorias angostas y afiladas, constituidas principalmente por rocas de origen intrusivo y metamórficas.

El origen se debe al ascenso de los cuerpos intrusivos y su posterior erosión o a la acción silicificante de los fluidos hidrotermales. El estudio de Soto *et al.* (2012), menciona 12 unidades geomorfológicas distribuidas en tres principales formas: a. Formas de origen denudacional, b. Formas de origen estructural y c. Formas de origen Fluvial.

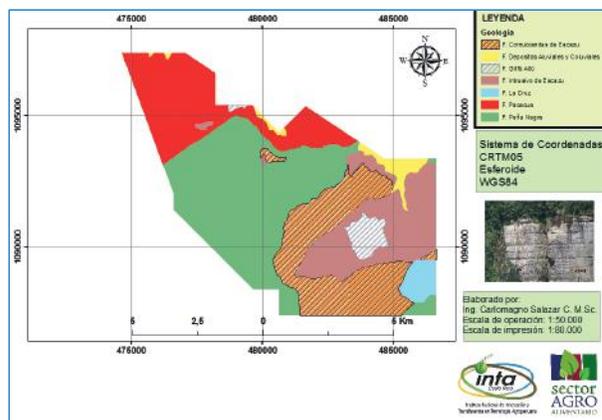


Figura 3. Mapa Geológico de los Cerros de Escazú, 2019. Adaptado de Denyer y Arias (1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los perfiles modales se determinaron mediante una hoja Excel que posee el INTA, en donde se respaldan todos los cateos u observaciones simples por Orden de suelo y la hoja Excel determina el cateo más representativo o típico (moda) del total de puntos por Orden de suelo (Figura 2), seguidamente se procede a realizar las calicatas para describir y muestrear toda las características morfológicas de rigor, con la finalidad de obtener los resultados químicos y físicos de estos suelos y en particular se toman muestras para mineralogía de arcillas, según las normas de la llave taxonómica del USDA (2014), cuyas profundidades a que se toma la muestra, se realiza según sea el Orden del suelo; finalmente con todos esos datos se clasifican los suelos hasta el nivel de familia mineralógica. El análisis mineralógico de las muestras de suelo de los perfiles modales encontrados en la zona protectora de los Cerros de Escazú, se realizó mediante dos técnicas: rayos X para los minerales cristalinos y conteo de granos en el microscopio petrográfico de luz polarizada para los minerales amorfos o para-cristalinos. La metodología de difracción de rayos X en polvos, adaptada del método de Carter (1993), se empleó para la preparación de las muestras de arcilla y su correspondiente análisis mineralógico. De tal manera, se tomó cada muestra y luego de destruir la materia orgánica (MO) con peróxido de hidrógeno al 30% (H_2O_2), se pesó 50 g de suelo seco (secado al horno a 60°C) a los que se les aplicó 100 ml de Calgón (hexametáfosfato de sodio + carbonato de sodio) y 100 ml de agua para dejar en agitación por 16 horas en un agitador del tipo horizontal. A las muestras de suelo no se les destruyeron los carbonatos porque no se encontraron suelos con contenido de calizas, tampoco se destruyeron los sesquióxidos ya que estos se consideran que forman parte de las arcillas. El contenido de los frascos plásticos donde se agitó las muestras se trasvasó a una probeta de 1000 ml a través de una criba de 50 micrones para separar físicamente la fracción arena de las fracciones arcilla y limo, según el método de la sedimentación basado en la Ley de Stokes. La suspensión de arcilla con limo se agitó por 10 segundos y se dejó reposar por dos horas, tiempo necesario para la deposición de la fracción limo. La arcilla en suspensión se separó empleando una pipeta de succión bucal a un recipiente con capacidad para dos litros. Posteriormente, se realizó una segunda agitación de la arcilla en suspensión por 10 segundos y se

esperó dos horas para separar cualquier partícula de limo no separada previamente.

Las arenas lavadas al inicio, se depositaron en un tubo plástico y se centrifugaron a 2400 rpm por 20 minutos. Seguidamente se decantó el agua limpia y las muestras se secaron al aire a 60°C por 24 horas. El mismo método se realizó para los limos removidos del fondo de la probeta. A la fracción arcilla se les agregó 50 ml de cloruro de magnesio ($MgCl_2$) de manera que quedaran precipitadas y saturadas de Mg. Después de dos días en reposo, se observó las arcillas precipitadas y un líquido supernatante, el cual se extrajo con una manguera de niveles por diferencia de gravedad y succión bucal. El resto del contenido se colocó en tubos Eppendorf y se centrifugó por un tiempo de 30 minutos a 2400 rpm, se decantó el líquido claro, el precipitado se lavó nuevamente con agua y se volvió a colocar en la centrifuga por 15 minutos. Luego de decantar el sólido se agregaron 10 ml de acetona [$(CH_3)_2 CO$] y se colocó en la centrifuga por cinco minutos, se decantó nuevamente y se secaron al aire a 60°C. Las muestras de arcilla después de secadas, se pulverizaron en un mortero para luego analizarlas en un difractor Rigaku Mini-flex 600 D4, propiedad del Centro de Servicio y Diseño del ICE, por parte de ingeniería geológica. El análisis de difracción de los minerales presentes en las arcillas se realizó con la técnica de difracción de rayos X en polvo. El procedimiento metodológico en el ICE consistió en realización de los barridos difractométricos a cada una de las muestras, para lo cual se colocó la arcilla de suelo en un porta-muestras de vidrio y se barrió en el difractor con un rango de 2,5° a 35°. Para la identificación de los constituyentes de la muestra se utilizó la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction Data (ICDD).

Una vez procesadas las muestras, se compararon los patrones de difracción (difractogramas), siguiendo la metodología de Burt (2004). Se estableció un patrón de los picos (difractograma) de los minerales presentes, el cual se comparó para cada una de las familias de arcillas que concuerdan con dicho patrón y de esta manera se obtuvo las muestras más representativas, es decir, las arcillas dominantes de cada perfil modal, para finalmente llegar a la clasificación de familias mineralógicas según la Keys to Soil Taxonomy (2014, doceava edición).

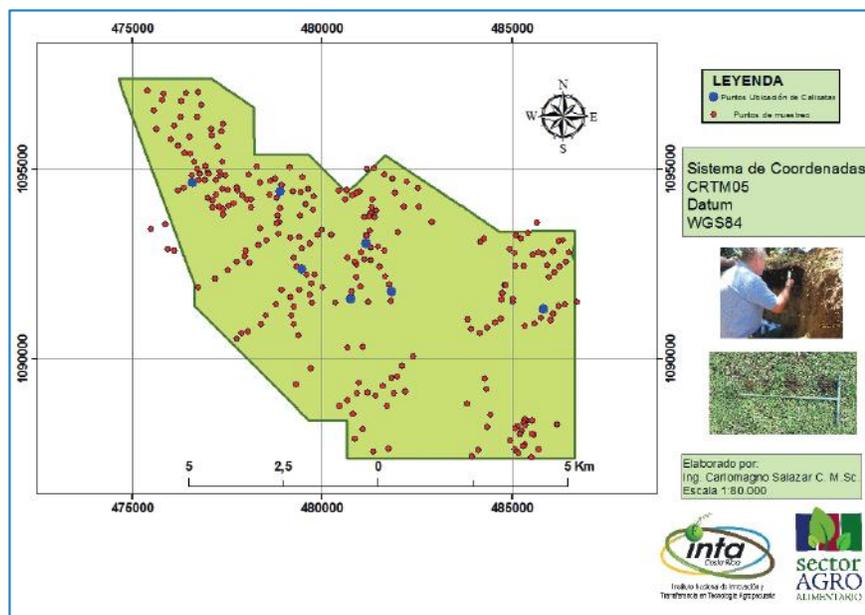


Figura 3. Mapa de puntos de ubicación de barrenadas simples y calicatas en la Zona Protectora de los Cerros de Escazú. San José, Costa Rica, 2019.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se mencionó en el resumen, en una primera fase del estudio a escala 1:50.000, se clasificaron los suelos hasta el nivel de Subgrupo y en una segunda etapa, una vez obtenidos los resultados de los minerales presentes en la fracción arcilla y arena, se reclasificaron taxonómicamente los suelos al nivel de Familia mineralógica, guardando la misma escala (1:50.000). En la zona protectora de los Cerros de Escazú, se encontró tres órdenes de suelos, correspondientes a Ultisoles, Inceptisoles y Entisoles, divididos en cinco Subórdenes: Humults, Ustults, Ustepts, Orthents, Psamments, que a su vez se concentraron en cinco Grandes Grupos: Haplohumults, Paleustults, Humustepts, Ustorthents, Ustipsamments, y seis Subgrupos: Ustic Haplohumults, Typic Paleustults, Andic Humustepts, Typic Humustepts, Lithic Ustorthents, Typic Ustipsamments, los cuales finalmente se clasificaron a nivel de seis familias mineralógicas:

Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult; Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult; Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept; Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept; Coarse loamy, Mixed, Isomesic Typic Ustipsamment, Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent. Todas estas clases de suelo se distribuyen en diez unidades cartográficas, en donde predominaron las asociaciones (Cuadro 1).

Como parte de los resultados, se realizó un resumen de los minerales encontrados en cada pedón, así como su litología de origen y la geomorfología encontrada por Zúñiga (2007), de acuerdo a tres diferentes pisos altitudinales, de 800-1.400 msnm, Fluvial y Aluvial, de 1.400-2.000 msnm, Coluvios y Sedimentos del Cuaternario, de 2.000-2.400 msnm, Sedimentario-Intrusivo (Cuadro 2). Posteriormente, se anotan los resultados de cada pedón en forma individual.

Cuadro 1. Resumen de unidades cartográficas y edáficas, San José, Costa Rica, 2019

Unidad Cartográfica	Unidad Taxonómica	Área	
		ha	%
Asociación Escazú	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	479.07	6.67
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	177.43	2.47
	Coarse loamy, Mixed, Isomesic Typic Ustipsamment	150.82	2.10
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult	79.85	1.11
Subtotal		887.17	12.36
Asociación San Miguel	Coarse loamy, Mixed, Isomesic Typic Ustipsamment	371	5.17
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	204.05	2.84
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult	37.11	0.52
	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	6.18	0.09
Subtotal		618.34	8.62
Asociación Cedral	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	240.04	3.34
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	102.31	1.42
	Coarse loamy, Mixed, Isomesic Typic Ustipsamment	51.16	0.71
Subtotal		393.51	5.48
Asociación Jaulares	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	886.05	12.35
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	543.06	7.57
Subtotal		1429.11	19.92
Asociación Tabarcia	Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult	632.06	8.81
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	373.02	5.20
	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	20.72	0.29
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept	10.36	0.14
Subtotal		1036.16	14.44
Asociación Salitral	Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult	283.96	3.96
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept	121.7	1.70
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult	104.31	1.45
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	63.75	0.89
	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	5.79	0.08
Subtotal		579.51	8.08
Asociación Matinilla	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	208.12	2.90
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult	174.82	2.44
	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	33.3	0.46
Subtotal		416.24	5.80
Asociación Pabellón	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	105.39	1.47
	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	57.02	0.80
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept	10.37	0.14
Subtotal		172.78	2.41
Asociación Pacacua	Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult	406.9	5.67
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept	359.59	5.01
	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	179.79	2.51
Subtotal		946.28	13.19
Asociación Río Oro	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	382.75	5.34
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult	201.81	2.81
	Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept	111.34	1.55
Subtotal		695.9	9.70
Total		7175.00	100.00

Cuadro 2. Resumen de minerales encontrados por pedón, con su correspondiente litología y geomorfología

Pedón	Nombre Taxonómico	Geomorfología	Litología	Minerales Identificados
CU-1	Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult	Coluvios y sedimentos del Cuaternario	Areniscas vulcanoclásticas, tobas, tobetas y brechas, Conglomerados fosilíferos, lutitas negras. cuarzo, plagioclasas, piroxenos, óxidos de hierro, ortosa y clastos volcánicos, lavas andesíticas, intrusivos y corneanas.	Óxidos de silicio (cuarzo y tridimita) y halloysitas.
CU-2	Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult	Coluvios y sedimentos del Cuaternario	Areniscas vulcanoclásticas, tobas, tobetas y brechas, Conglomerados fosilíferos, lutitas negras. cuarzo, plagioclasas, piroxenos, óxidos de hierro, ortosa y clastos volcánicos, lavas andesíticas, intrusivos y corneanas. Monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas.	óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), hidróxidos de aluminio (gibbsita), halloysitas 7 Å, y cloritas.
CE-1	Coarse-loamy, Mixed, Isomesic Typic Ustipsamment	Sedimentario-Intrusivo	monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas. Lavas andesíticas, intrusivos y corneanas. basaltos, dacitas y secuencias de flujos piroclásticos, con bloques lávicos y escoriáceos, así como depósitos ignimbríticos.	Óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), hidróxidos de aluminio (gibbsita), cloritas, halloysitas, y feldespatos alterados. Plagioclasa, ortosa, hornblenda, augita, biotita, magnetita y cuarzo.
CE-2	Coarse-loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	Coluvios y sedimentos del Cuaternario	Monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas. Lavas andesíticas, intrusivos y corneanas. basaltos, dacitas y secuencias de flujos piroclásticos, con bloques lávicos y escoriáceos, así como depósitos ignimbríticos. Cornubianitas y areniscas, lutitas negras, cuarzo, plagioclasas, piroxenos, óxidos de hierro, ortosa y clastos volcánicos. Basaltos, andesitas y tobas, conglomerados y brechas volcánicas, areniscas vulcanoclásticas, y tobetas.	Óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), hidróxidos de aluminio (gibbsita), halloysitas, y cloritas.

Pedón	Nombre Taxonómico	Geomorfología	Litología	Minerales Identificados
CE-3	Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent	Fluvial Aluvial	Monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas. Lavas andesíticas, intrusivos y corneanas. basaltos, dacitas y secuencias de flujos piroclásticos, con bloques lávicos y escoriáceos, así como depósitos ignimbríticos. Cornubianitas y areniscas, lutitas negras, cuarzo, plagioclasas, piroxenos, óxidos de hierro, ortosa y clastos volcánicos. Basaltos, andesitas y tobas, conglomerados y brechas volcánicas, areniscas vulcanoclásticas, y tobitas.	Óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y cristobalita), además de feldespatos alterados y halloysita.
CI-1	Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept	Coluvios y sedimentos del Cuaternario	Areniscas vulcanoclásticas, tobas, tobitas y brechas, conglomerados fosilíferos. Monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas.	Óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita). hidróxidos de aluminio (gibbsite), óxidos de hierro (magnetita), además de halloysitas.
CI-2	Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept	Coluvios y sedimentos del Cuaternario	Monzonitas, granodioritas, monzogabros, monzodioritas, gabros y sienitas. Lavas andesíticas, intrusivos y corneanas. basaltos, dacitas y secuencias de flujos piroclásticos, con bloques lávicos y escoriáceos, así como depósitos ignimbríticos. Cornubianitas y areniscas, lutitas negras, cuarzo, plagioclasas, piroxenos, óxidos de hierro, ortosa y clastos volcánicos. Basaltos, andesitas y tobas, conglomerados y brechas volcánicas, areniscas vulcanoclásticas, y tobitas. lavas andesíticas con tonalidades grises y rojizas. Se encuentran rocas volcánicas como dacitas y secuencias de flujos piroclásticos, con bloques lávicos y escoriáceos, así como depósitos ignimbríticos.	Óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita). hidróxidos de aluminio (gibbsite), óxidos de hierro (magnetita), además de halloysitas y feldespatos alterados.

Pedón CU-1

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Fine, Mixed, Isothermic Typic Paleustult. En estos suelos de mineralogía mezclada se encontraron minerales como: óxidos de silicio (cuarzo y tridimita) y halloysitas 7 Å, que como lo muestra su litología, hay predominancia de materiales vulcanoclásticos, por tal motivo es muy común encontrar halloysitas y de las tobas se derivan los óxidos de silicio (cuarzo y tridimita) (Cuadro 2) (Figura 4).

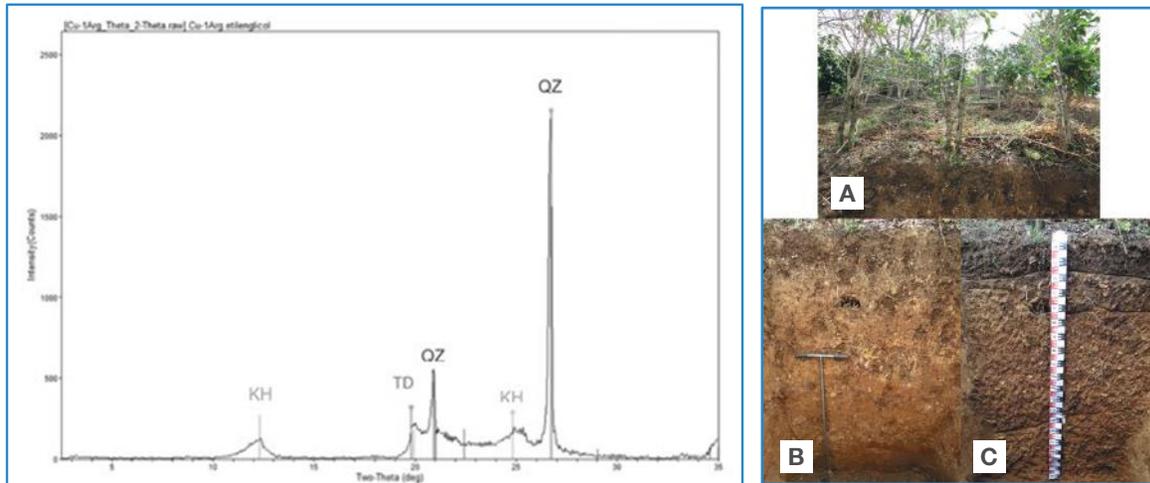


Figura 4. A la izquierda, difractograma del pedón CU-1. QZ=cuarzo, TD=tridimita y KH=halloysita. A la derecha, detalle del perfil modal CU-1 (typic Paleustults). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

Pedón CU-2

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Fine loamy, Mixed, Isothermic Ustic Haplohumult. En estos suelos de mineralogía mezclada se formó otro suelo del Orden de los Ultisoles, se encontraron minerales como: óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), hidróxidos de aluminio (gibbsita), halloysitas 7 Å, y cloritas, todos derivados de materiales vulcanoclásticos como lo muestra su litología (Cuadro 2) (Figura 5).

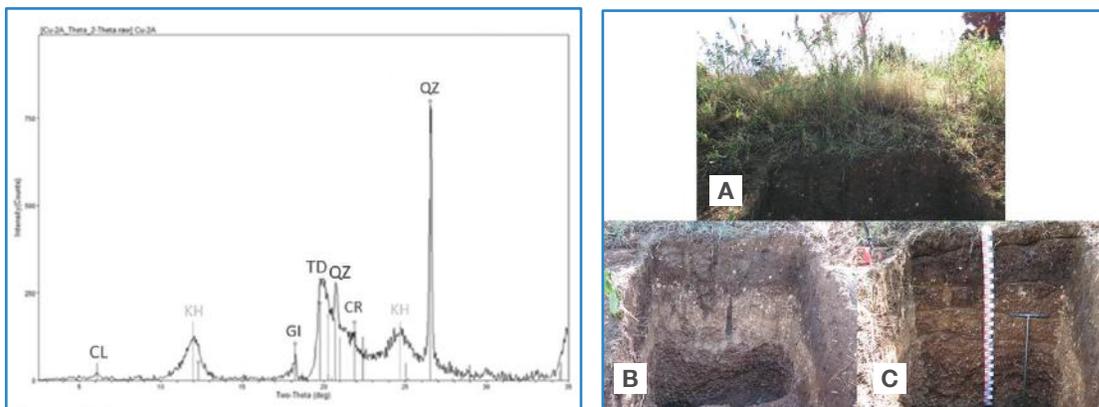


Figura 5. A la izquierda, difractograma del pedón CU-2. QZ= cuarzo, TD=tridimita, KH=halloysita, GI=gibbsita, CR=cristobalita y CL=clorita. A la derecha, detalle del perfil modal CU-2 (Ustic Haplohumults). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

Pedón CE-1

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Coarse loamy, Mixed, Isomesic Typic Ustipsamment. En estos suelos de mineralogía mezclada se encontraron (vía difractómetro) minerales como: óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), derivados posiblemente de los depósitos ignimbríticos (Cuadro 2), hidróxidos de aluminio (gibbsita), cloritas, halloysitas 7 Å, y feldespatos alterados, provenientes de la gran diversidad de otros materiales intemperizados de las rocas intrusivas y corneanas (Figura 6).

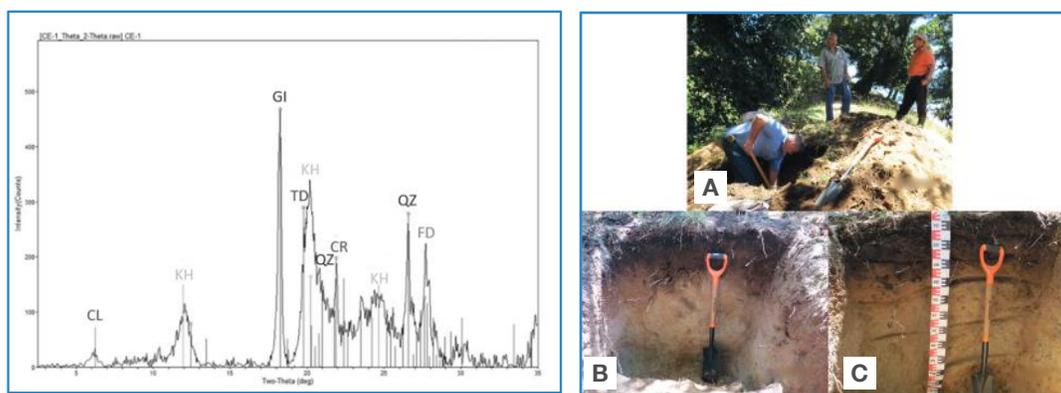


Figura 6. A la izquierda, difractograma del pedón CE-1. QZ=cuarzo, TD=tridimita, KH=halloysita, GI=gibbsita, CR=cristobalita, CL=clorita y FD=feldespatos alterados. A la derecha, detalle del perfil modal CE-1 (Typic Ustipsamments). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

A este pedón, por ser un Psamments, se le realizó un barrido de la fracción gruesa (arena) en el estereoscopio y microscopio de luz polarizada del departamento de Ingeniería Geológica, perteneciente al área del Centro de Servicio y Diseño del ICE. Dicho análisis se realizó a una muestra esencialmente de cristales (se observan en grupos o separados), así como en fragmentos alterados de forma parcial a total, donde se reporta la siguiente descripción petrográfica:

- **Plagioclasa (36%):** casi siempre sana (poca alteración a arcillas), con
- **Ortosa (feldespato potásico) (14%):** sano a poco alterado a arcillas, con inclusiones.
- **Hornblenda (anfíbol) (6%):** sano a poco alterado (arcillas, óxidos de hierro), abundante.
- **Augita (piroxeno) (5%):** escaso, sano hasta alterado a arcillas.
- **Biotita (mica) (7%):** Pocos cristales, tamaño pequeño, sanos a poco alterados.
- **Magnetita (4%):** Aparece como cristales solo, fragmentos alterados y también aparece sano.
- **Fragmentos alterados (15%):** se trata de fragmentos de roca muy arcillidificados y en algunos casos aparecen con óxidos-hidróxidos de hierro. Aún así, se logran identificar magnetita, biotita, plagioclasas y piroxenos (augita) sanos.
- **Fragmentos sanos (12%):** conjunto de cristales donde se identifica claramente la textura de una roca intrusiva.
- **Cuarzo (1%):** pocos cristales, sanos.

De acuerdo con la mineralogía y rasgos texturales observados, resulta evidente que tanto los cristales sanos como el material alterado corresponden a la misma roca fuente y que particularmente, corresponde con las rocas ígneas intrusivas asociadas al llamado Intrusivo de Escazú (Figuras 7 y 8).

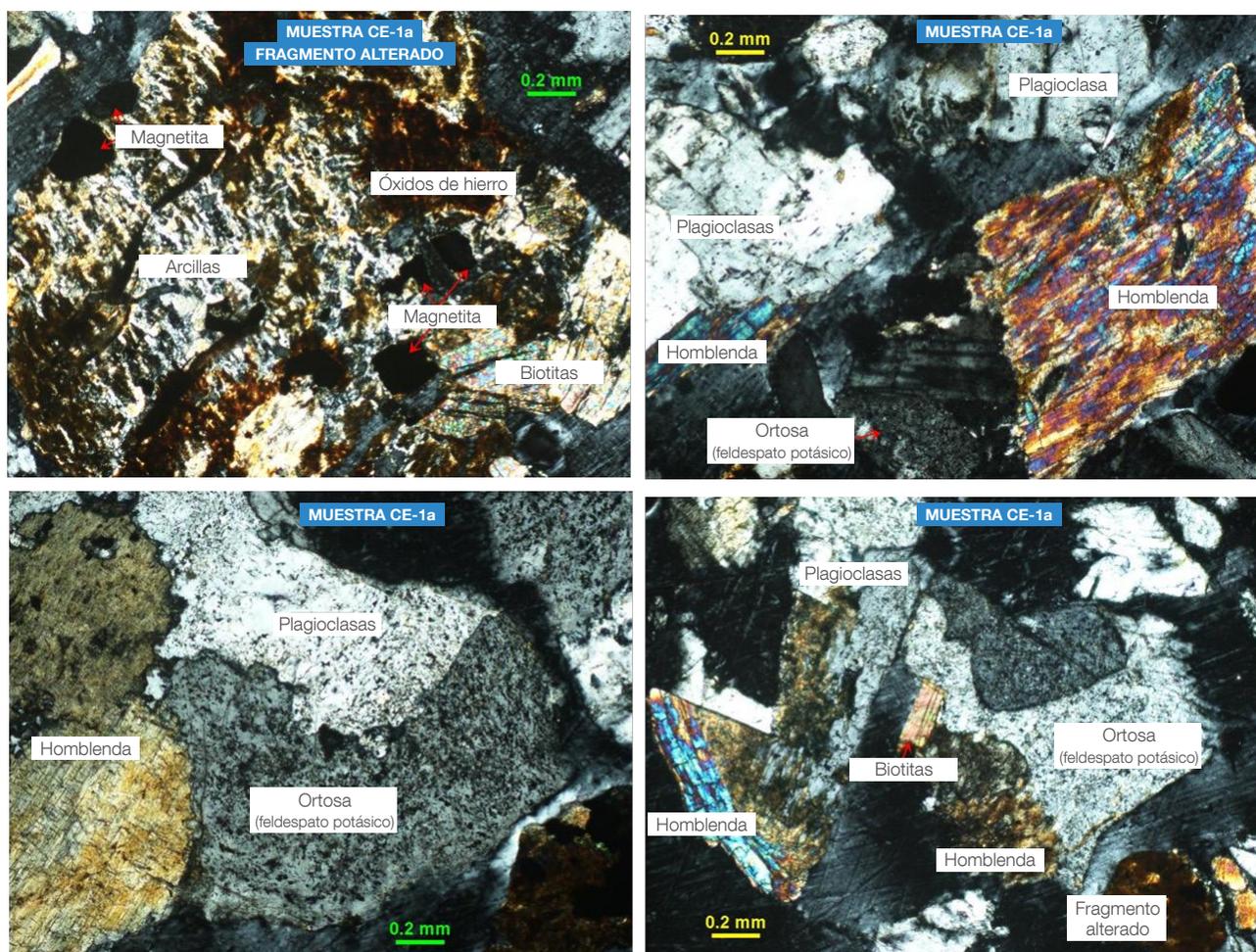


Figura 7. Arriba a la izquierda, Fragmento de roca alterado a arcillas y óxidos de hierro, con magnetita y biotita aún sanos (Técnica Nícoles paralelos). Arriba a la derecha, fragmento de roca sano y de textura granular típico (intrusivo), con plagioclasas, hornblendas y ortosa (feldespato potásico) (Técnica Nícoles cruzados). Abajo a la izquierda, fragmento de roca sano y de textura granular típico (intrusivo), con plagioclasas, hornblenda y ortosa (feldespato potásico) (Técnica Nícoles cruzados). Abajo a la derecha, cristales sanos a poco alterados de hornblenda, biotita, ortosa y plagioclasa. Esquina inferior derecha, fragmento alterado (Técnica Nícoles cruzados). San José, Costa Rica, 2019.

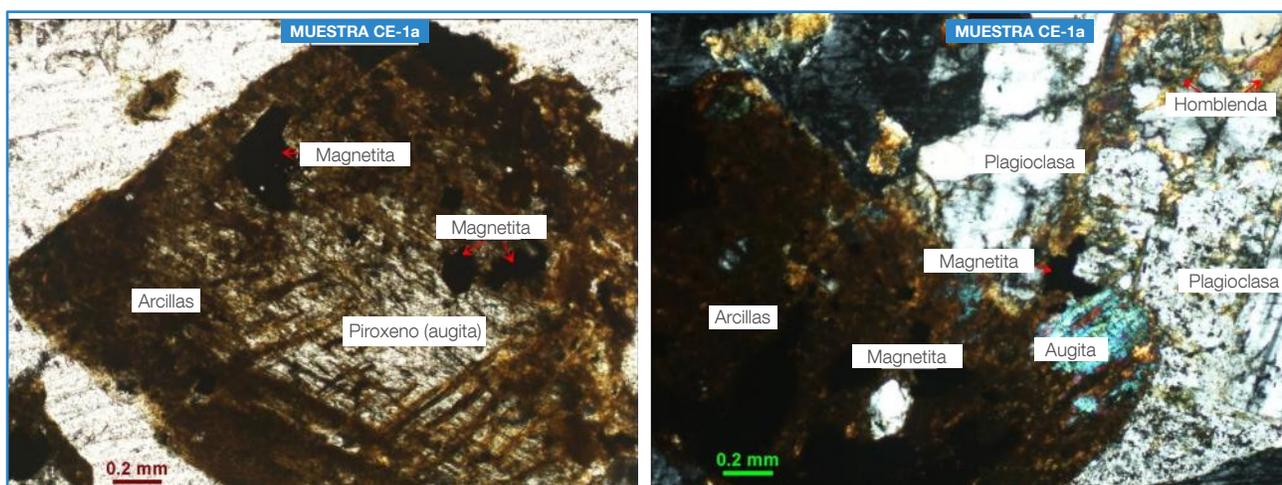


Figura 8. A la izquierda, Augita (píroxeno) parcialmente alterado a arcillas, con magnetita sanas, (Técnica Nícoles paralelos). A la derecha, Augita (píroxeno) parcialmente alterado a arcillas, con magnetita, hornblenda, y plagioclasas sanas (Técnica Nícoles cruzados). San José, Costa Rica, 2019.

Pedón CE-2

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent. En estos suelos de mineralogía mezclada se encontraron minerales como: óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y cristobalita), los cuales se derivan de los depósitos de ignimbritas y el resto de minerales encontrados se heredan principalmente de materiales vulcanoclásticos (Cuadro 2), como los hidróxidos de aluminio (gibbsita), óxidos de hierro (magnetita), cloritas, y feldespatos alterados (Figura 9).

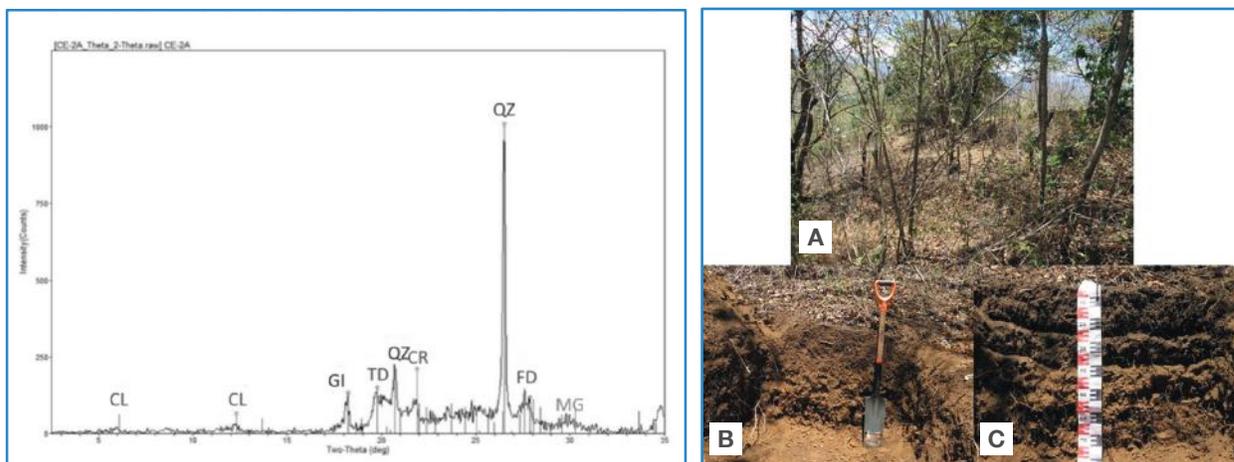


Figura 9. A la izquierda, difractograma del pedón CE-2. QZ=cuarzo, TD=tridimita, GI=gibbsita, CR=cristobalita, MG=magnetita, CL=clorita y FD= feldespatos alterados. A la derecha, detalle del perfil modal CE-2 (Lithic Ustorthents). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

Pedón CE-3

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Coarse loamy, Mixed, Isothermic Lithic Ustorthent. En estos suelos de mineralogía mezclada se encontraron minerales como: óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y cristobalita), igualmente derivados de los depósitos de ignimbritas, según su litología, además de feldespatos alterados y halloysita 7 Å, que son producto de los materiales vulcanoclásticos (Cuadro 2) (Figura 10).

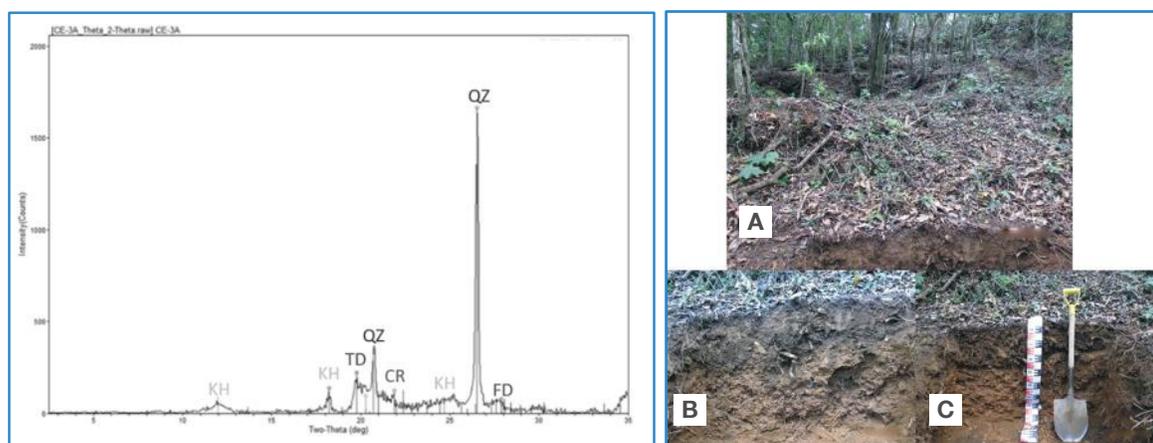


Figura 10. A la izquierda, difractograma del pedón CE-3. QZ=cuarzo, TD=tridimita, KH=halloysita, CR=cristobalita y FD=feldespatos alterados. A la derecha, detalle del perfil modal CE-3 (Lithic Ustorthents). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

Pedón CI-1

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Fine, Mixed, Isothermic Typic Humustept. En estos suelos de mineralogía mezclada se encontraron minerales como: óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), que pueden derivarse de la toba, y el resto de la mineralogía encontrada es producto de los materiales vulcanoclásticos, como hidróxidos de aluminio (gibbsita), óxidos de hierro (magnetita), además de halloysitas 7 Å (Cuadro 2) (Figura 11).

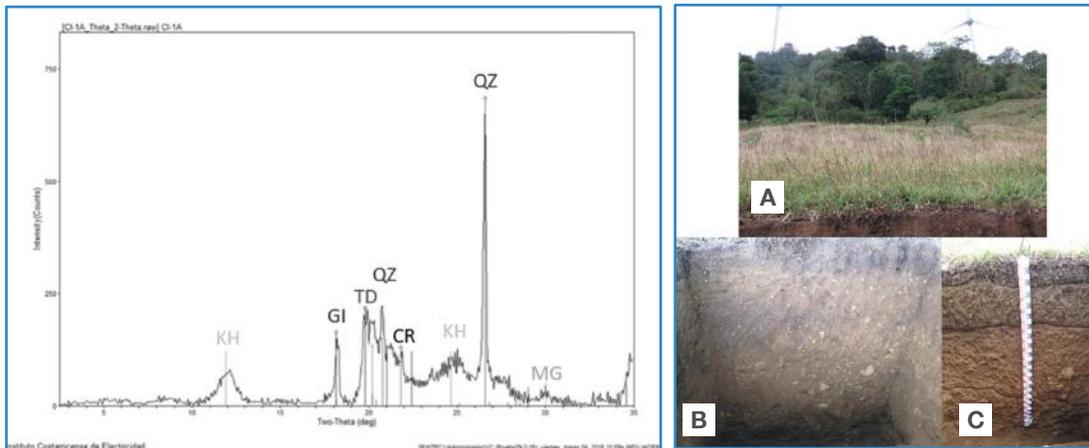


Figura 11. A la izquierda, difractograma del pedón CI-1. QZ= cuarzo, TD=tridimita, KH=halloysita, GI=gibbsita, CR=cristobalita y MG=magnetita. A la derecha, detalle del perfil modal CI-2 (Typic Humustept). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

Pedón CI-2

Este perfil modal representa a los suelos clasificados como: Fine loamy, Mixed, Isothermic Andic Humustept. En estos suelos de mineralogía mezclada se encontraron minerales como: óxidos de silicio (cuarzo, tridimita y la cristobalita), que se derivan de ignimbritas, y el resto de minerales encontrados, se originan de materiales vulcanoclásticos y de la gran diversidad de materiales en su litología, como los hidróxidos de aluminio (gibbsita), óxidos de hierro (magnetita), además de halloysitas 7 Å y feldespatos alterados (Cuadro 2) (Figura 12).

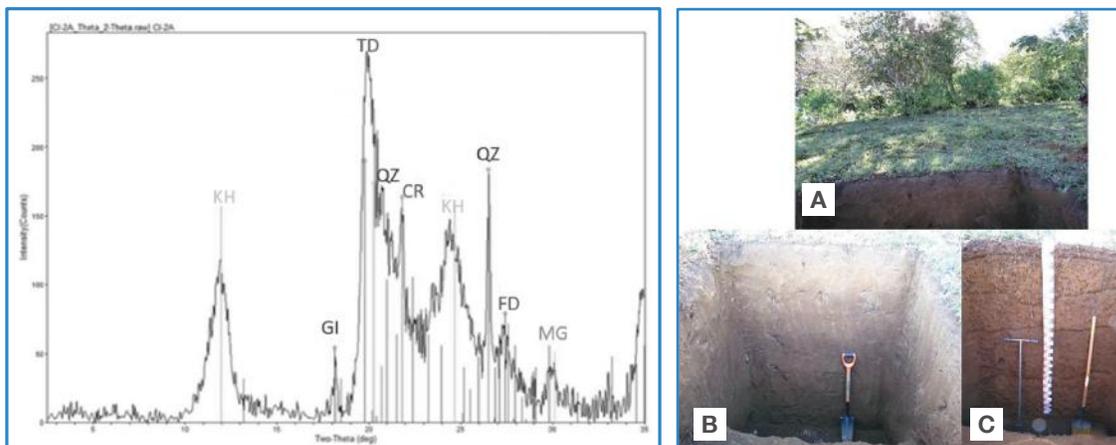


Figura 13. A la izquierda, difractograma del pedón CI-2. QZ=cuarzo, TD=tridimita, KH=halloysita, GI=gibbsita, CR=cristobalita, MG=magnetita y FD=feldespatos alterados. A la derecha, detalle del perfil modal CI-2 (Andic Humustepts). A) cobertura y uso actual, B) perfil natural y C) separación de horizontes. San José, Costa Rica, 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la zona protectora “Cerros de Escazú”, se evidencia que en el 100% de las muestras procesadas, se encontró óxidos de silicio como cuarzo y tridimita y en un 86%, los mismos minerales asociados a cristobalita. Todos éstos minerales no arcillosos y de origen primario explican la baja actividad química del suelo y su correspondiente baja fertilidad potencial, para la futura nutrición de las plantas, por lo tanto, los Inceptisoles y Entisoles presentaron una fertilidad de media a baja.

El 86% de las muestras analizadas presentaron halloysitas dentro de su composición mineral, como mencionó Alvarado *et al.* (2014). Las arcillas de corto rango de cristalización (halloysitas) pueden presentarse en áreas de vulcanismo activo reciente, como lo fue la erupción del volcán Irazú en 1963. La formación de halloysita es el resultado de un enriquecimiento del suelo con silicio, en donde la concentración del elemento toma valores en solución del suelo $>10\text{mg.l}^{-1}$. Lo anterior, ocurre como resultado de un drenaje deficiente, déficit de humedad en determinadas épocas del año, transformación de feldespatos y pseudomorfos pumíceos en microambientes confinados (Alvarado *et al.* 2014).

La halloysita es una arcilla que se caracteriza por presentar una CIC baja, entre 10 y 50 cmol (+) l^{-1} arcilla (Besoain 1985).

Los hidróxidos de aluminio (gibbsita), se encontraron en el 71% de las muestras estudiadas. La gibbsita es el hidróxido de aluminio más común en los suelos, además, es el mineral más importante de las bauxitas y oxisoles. Puede aparecer en suelos formados de cenizas volcánicas o en esodosoles y ultisoles. Por otro lado, se presenta en los suelos tropicales como producto de la meteorización, vía desbasificación y desilicatación de arenas andesíticas (Nieuwenhuys *et al.* 1994), plagioclasas y piroxenos (Besoain 1985, Nakamura y Sherman 1965).

Según Alvarado *et al.* (2014), la gibbsita se puede formar en ambientes de alteración hidrotermal o neomatolítica, relacionados con fuentes de calor por actividad volcánica o por cizallamiento de falla.

Las cloritas y óxidos de hierro (magnetita) se encontraron en el 43% de las muestras analizadas. Las cloritas son minerales de cuatro capas (2:1:1) o tetramórficas, la mayoría dioctaédricas. Las cloritas se encuentran principalmente en rocas metamórficas, pero pueden encontrarse ocasionalmente en rocas ígneas, en donde se forman secundariamente por acción deutérica o hidrotermal (relacionada con la instauración de los intrusivos en los Cerros de Escazú) en minerales ferromagnesianos (Besoain 1985).

Las cloritas también se pueden presentar como arcillas interestratificadas, compuestas por capas 2:1 a la cual, se le une una capa de hidróxidos llamada brucita, la cual es atraída por efecto de atracción electrostática. La carga neta negativa de las capas 2:1 de la clorita es originada por la sustitución de magnesio por iones aluminio que se unen a la lámina de brucita de carga positiva. Además, se puede dar otra forma de unión menos estable en el suelo de las cloritas, la cual es por medio de puentes de H^+ . La CIC de estas arcillas es variable y baja (Alvarado *et al.* 2014).

Por su parte la magnetita (óxido de hierro), es un óxido negro heredado de las rocas parentales y tiene forma de espinela, además se presenta como frágil, con brillo metálico y fractura concoidal, con gran susceptibilidad magnética. Cuando la magnetita se oxida conduce a la maghemita (Besoain 1985).

La planificación del manejo de los suelos en una determinada región debería ir acompañado de un estudio mineralógico de las fracciones arenas y arcillas. El estudio de la fracción arena permite determinar la fertilidad potencial, en tanto que la fracción arcilla es “condicionante de la fertilidad disponible del suelo”. Los minerales de arcilla presentan cargas negativas y positivas que pueden adsorber cationes y en menor cantidad aniones, así como retener agua entre sus láminas y elementos químicos necesarios para las plantas. Las arcillas definen la fertilidad de los suelos en relación con la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) y la alta o baja saturación de bases. Además, la caracterización de los minerales presentes en un suelo, permite realizar la clasificación taxonómica a nivel de familia mineralógica (Figura 13).

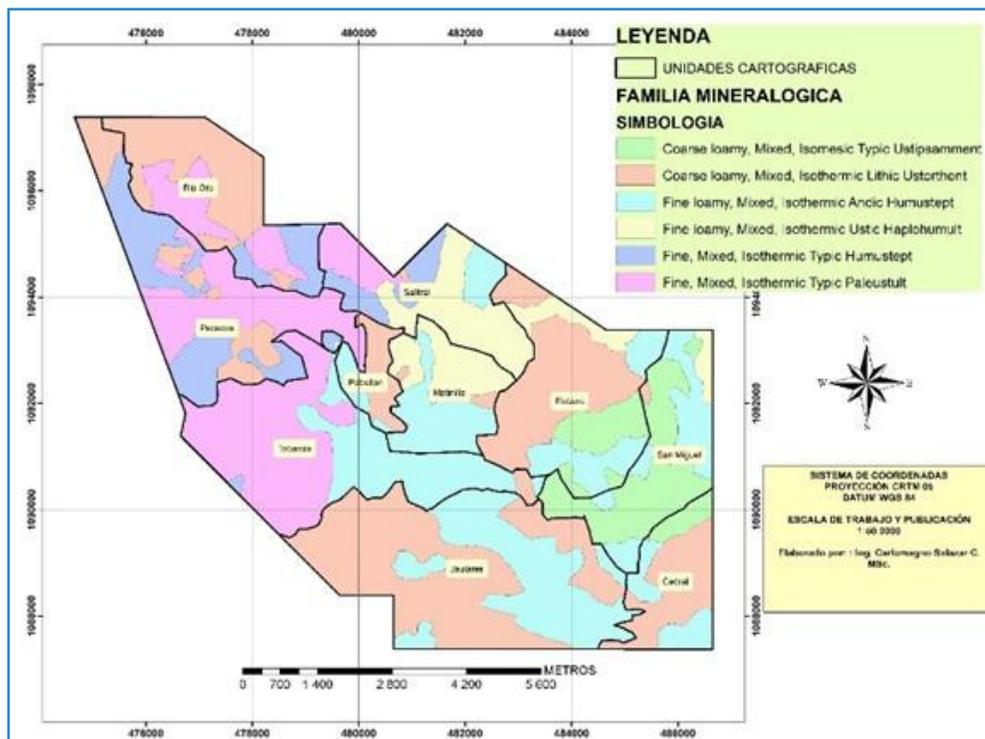


Figura 13. Mapa de unidades cartográficas y de suelos a nivel de familia mineralógica en la zona protectora “Cerros de Escazú”, San José, Costa Rica, 2019.

LITERATURA CITADA

Alvarado, G., Arce, R. & Sánchez, J.M., 2002: La Caída de grandes bloques y la generación de debris flows y su peligro implícito en los sectores residenciales de Escazú y Santa Ana. VIII Seminario Nacional de Geotecnia. III Encuentro Centroamericano de Geotecnistas, Costa Rica.

Alvarado, A; Mata, R; Chinchilla, M. 2014. Arcillas identificadas en suelos de Costa Rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: I. Historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agronomía Costarricense* 38(1):75-106.

Arias, M; Fuentes, O; Fallas, J. 2011. Criterios utilizados para la microzonificación de la microcuenca Lajas, Cantón de Escazú, Costa Rica- Rev. En Torno a la Prevención CNE (7):1-7.

Bergoeing, JP; Malavassi, E. 1982. Geomorfología del Valle Central de Costa Rica. Dpto. de Geografía, UCR., e IGN, San José, CR. 49 p.

Bergoeing, JP. 1998. Geomorfología de Costa Rica. San José, CR. Instituto. Geográfico Nacional. 409 p.

Berrangé, JP; Whittaker, J. 1977. Reconnaissance geology of the Tapantí Quadrangle, Talamanca Cordillera, Costa Rica. -Institute of Geological Sciences, London. Report 37. - 72 p.

Besoain, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. IICA. San José, CR. 1216 p.

Bonilla, E. 2003. Inspección a varios deslizamientos en el distrito de San Antonio, Escazú. DPM-INF-059-2003. -6 p. CNE, San José.

Burt, R. 2004. Soil survey laboratory methods manual. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil survey investigations report No. 42. Ver 4. US. 700 p.

- Carter, MR. 1993. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis publishers, US. 823 p.
- Castillo, R. 1969. Geología de los mapas básicos Abra y partes de Río Grande, Costa Rica. -40 p. Informe MEIC [Inf. Interno].
- Chaves, I. 2007: Valoración de estado de Amenaza por deslizamiento activo en el Barrio Curio. DPM-INF-1655-2007. -5 p. CNE, San José.
- Denyer, P; Arias, O. 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. - Rev. Geol. Amér. Central, 12:1-59.
- Denyer, P; Kussmaul, S. 2000. Geología de Costa Rica. Compilado. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 520 p.
- Denyer, P; Montero W; Alvarado, G. 2009. Atlas Tectónico de Costa Rica. 58 p. 2 ed. Edit. UCR. San José.
- Dóndoli, C. 1950. Liberia y sus alrededores. Nota Geoagronómica. San José, Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín Técnico No.3, p. 3-4.
- Dóndoli, C. 1970: Nota informativa para la Municipalidad de Escazú sobre las fuentes de alimentación de la cañería del lugar.- Inf. Téc. Notas Geól. MEIC (40): 15-16.
- Echandi, E. 1981. Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla. Tesis Lic. Univ. de Costa Rica, San José. 123 p.
- Fernández, M; Montero, W. 2002. Fallamiento y sismicidad entre Cartago y San José, Valle Central de Costa Rica. -Rev. Geol. Amér. Central, 26: 25-37.
- González, C.1910. Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica, 1608-1910. Univ. de Costa Rica, San José. 200 p.
- Hernández F, JC. 1994. Caracterización Geológica-Geotécnica del Deslizamiento el Burío, cantón de Aserrí. Escuela Centroamericana de Geología, Informe Avance Comisión Nacional de Emergencia. 10 p.
- Hernández, J; Vargas, A. 1992. Geología urbana del cantón de Escazú, provincia San José, Costa Rica. Univ. de Costa Rica, San José. 173 p. Inf. Campaña Geol.
- Krushensky, R. 1972. Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica. - Geological Survey Bulletin 1358. - 46 p.
- Madrigal, R; Rojas, E. 1980. Manual Descriptivo del Mapa Geomorfológico de Costa Rica (escala 1:200.000) - Imprenta Nacional, San José. 79 p.
- Madrigal, J. 2004. Problemática por deslizamiento en la parte alta de la microcuenca superior del río Agres-San Rafael. DPM-INF-349-2004.- CNE, San José. 21 p.
- Mora, R. 1993. Proyecto de Geología Urbana del Gran Área Metropolitana, Cantón Escazú. - Univ. de Costa Rica, San José. 73 p. Inf. Interno.
- Nakamura, MT; Sherman, GD. 1965. The genesis of halloysite and gibbsite from mugarite on the island of Maui. Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin, 62, 36 p.
- Nieuwenhuys, A; Kroonenberg, SB. 1994. Volcanic origin of Holocene beach ridges along the Caribbean coast of Costa Rica. Marine Geology 120: 13-26.
- Obando, LG.1983. Estratigrafía y petrografía de las rocas aflorantes al sur del Valle Central (Tarbaca). Tesis Lic. Univ. de Costa Rica, San José. 136 p.
- Peraldo, G; Montero, W. 1999. Sismología histórica de América Central.- Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Publ. No. 513, México D.F. 347 p.
- Peraldo, G; Rojas, E. 2000. Catálogo de deslizamientos históricos para Costa Rica, periodo 1772-1960. -Inf. Sem. IGN, 2000 (1 y 2): 123-171 p.
- Rivier, F. 1979. Geología del área norte de los cerros de Escazú, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. San José. 99-138. Inf. Semestral.
- Soto A, D; Chaves S, I; Durán M, M; Herra H, D. 2012. Susceptibilidad de deslizamiento del cantón de Escazú y análisis a detalle de cinco casos específicos: Palo Campana, Salitrillo, Curio y la Cuenca de los ríos Agres y Guayabos. Seminario de graduación, Escuela Centroamericana de Geología, Facultad de Ciencias Básicas, UCR. San José, CR. 130 p.

Sprechman, P. 1984. Manual de Geología de Costa Rica, Estratigrafía. Ed. Univ. Costa Rica, San José. Vol 1. 320 p.

USDA (United States Department of Agriculture) Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. 12th ed. Natural resources conservation services, US. 360 p.

Zúñiga V, W. 2007. Los Cerros de Escazú, un ejemplo del uso irracional de los paisajes (en línea). UCR, San José, CR. Reflexiones, vol. 86, núm.1. pp. 59-75. Consultado 10 may. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/729/72920534004.pdf>.

INFORMACIÓN PARA LOS AUTORES

La publicación de la revista Alcances Tecnológicos, se inició durante el año 2003 y es una de las actividades relevantes del área de transferencia de tecnología del INTA, la revista

tiene carácter técnico-científico y se publica un número cada dos años. Se reciben los artículos que cumplan con los requisitos, que sean originales y que no han sido publicados en otra revista.

TIPOS DE DOCUMENTOS RECIBIDOS

Artículos científicos

Se refiere a una investigación detallada con resumen, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión y literatura citada. Se debe demostrar la profundidad del estudio y resaltar los méritos del trabajo para su publicación como artículo científico. La extensión máxima es de 30 páginas en Microsoft Word a espacio sencillo y con tipografía Arial 12.

Notas técnicas

Se refiere a una publicación con la misma estructura de un artículo científico, sin su nivel de detalle. La extensión máxima es de 30 páginas.

Revisiones bibliográficas

Son recopilaciones y síntesis del conocimiento existente en un campo específico de interés en las ciencias agrícolas. Se debe incluir resumen, introducción y el contenido. Extensión máxima 30 páginas y con un mínimo de 25 referencias bibliográficas.

Análisis y comentario

Es el análisis de una situación específica, realizado por un especialista con reconocida trayectoria en el campo. Se debe incluir resumen, introducción, el contenido y la literatura citada. Extensión máxima 10 páginas.

Informaciones técnicas

Están enfocadas en aprovechar la amplia experiencia de un especialista en un campo específico. Se debe incluir resumen, introducción, el contenido y la literatura citada. Extensión máxima 15 páginas.

Comunicaciones cortas

Son resultados preliminares de interés para el sector agropecuario. Debe contener introducción, resultados y la literatura citada. Extensión máxima 10 páginas.

RECEPCIÓN DE DOCUMENTOS

1. La recepción de los artículos se hará en el Departamento de Transferencia e Información Tecnológica, teléfono 2231 3991, dirección electrónica comiteeditorial@inta.go.cr
2. La recepción o no de los escritos será competencia del Comité Editorial del INTA, el cual hará una valoración inicial de acuerdo a las normas y procedimientos para la publicación de documentos en la revista Alcances Tecnológicos del INTA.
3. Si el documento presentado es del INTA, el autor principal debe presentar una nota del programa correspondiente en la que se avala su publicación y se indica que no ha sido sometido a publicación en otra revista.
4. Si el documento presentado no es del INTA, el autor principal debe presentar una nota de la institución para la cual labora, en la que se autoriza su publicación y se indica que no ha sido sometido a publicación en otra revista.
5. Si en el documento presentado figuran varios autores, cada uno de ellos debe autorizar por escrito la publicación del documento. Además, deben indicar la aprobación del orden de los autores e indicar autor responsable para correspondencia.
6. Para aceptar o no la publicación el Comité Editorial somete los artículos a revisión. Para esto dispone de una lista de revisores internos y externos.
7. Los artículos son revisados por tres especialistas dos del INTA (revisores internos) y otro de otra institución (revisor externo).
8. Los revisores deben indicar las observaciones en el documento y completar el cuadro de calificación. Pueden utilizar la versión electrónica de control de cambios.
9. Si los autores no aceptan las sugerencias de los especialistas, deben enviar una nota al Comité Editorial explicando las razones; si es necesario el Comité Editorial elegirá otro especialista, el cual fungirá como árbitro.

REVISIÓN Y ACEPTACIÓN DE DOCUMENTOS

1. Los revisores internos tendrán un plazo máximo de un mes para entregar las publicaciones revisadas. A los revisores externos se les sugerirá el mismo tiempo para revisarlo.
2. Cuando el artículo es devuelto por los revisores, el/la editor/a dispondrá de ocho días hábiles para enviarlo a los autores con una nota en la que se indican las correcciones respectivas. Por su parte, los autores contarán con un plazo máximo de 15 días hábiles para hacer las correcciones y devolverlo, a el/la editor/a.
3. Una vez que el artículo es revisado y corregido, lo cual es corroborado por el Comité Editorial, se autoriza su publicación.
4. Luego de aprobada la publicación del artículo por el Comité Editorial, los autores deben revisar exhaustivamente todo el texto, para consentir su publicación.

REDACCIÓN DE LOS DOCUMENTOS

1. En la redacción de los artículos se deben utilizar las normas de la Real Academia Española y las unidades de medida del Sistema Métrico Decimal.
 - Las unidades no llevan punto, se escriben con minúscula y no tienen plural. Algunos ejemplos son: kilogramo (kg), gramo (g), metro (m), hectárea (ha), milímetro (mm), miligramo (mg) litro (l), metros sobre el nivel del mar (msnm).
 - Los elementos (N, P entre otros) y los compuestos químicos (como, por ejemplo: NaOH, NaCl) se escriben con mayúscula.
 - Cuando las unidades no están precedidas por un número, se expresan por su nombre completo sin utilizar su abreviatura. Por ejemplo: metro en lugar de m.
 - Los decimales se indican con coma; los miles y los millones con un espacio. Ejemplo: 8 327 451,25. Los números de cuatro cifras se escriben sin espacios. Ejemplo: 2458.
- En el caso de los números del cero al nueve, cuando no van seguidos de unidades, se escriben con palabra; y números para valores iguales o mayores a 10.
2. Cuando en los artículos se citan productos de origen químico o biológico, se deben utilizar solamente los nombres genéricos. Ejemplos: Terbufos, Oxidemeton Metil. No se acepta el uso de nombres comerciales. Además, los productos mencionados deben estar registrados y aprobados (para el cultivo) en la base de datos del Registro de Insumos y Fiscalización del Servicio Fitosanitario del Estado. Disponible en <https://www.sfe.go.cr/>
3. Los cuadros y figuras que no son propiedad del autor, deben poseer fuente.

FORMATO PARA CADA SECCIÓN DE LOS DOCUMENTOS

Título

Tiene que ser breve, específico, resumido, en mayúscula y en negrita. No más de 14 palabras. Él o los autores deben indicar los nombres científicos en cursiva, cuando consideren que el nombre común no es muy conocido (Agronomía Mesoamericana 2017).

Lo que no se recomienda en los títulos (Araya 2012)¹.

- Estudio sobre.....
- Informe de.....
- Investigación acerca de.....
- Contribución a.....
- Resultados de un estudio sobre.....
- Análisis de los resultados.....

1 Araya R. 06 jun. 2017. Lo que no se usa en los títulos. (entrevista). San José, Costa Rica.

Los nombres científicos (género, especie, cultivar y el nombre del clasificador) deberán ser citados para cada organismo en su primera mención, posteriormente se puede continuar usando el nombre común.

Título resumido

No debe ser mayor a ocho palabras (Agronomía Mesoamericana 2017).

Autor(es)

Se consideran autores los individuos o entidades responsables de los contenidos intelectuales de las publicaciones. El orden en el que se mencionan va de acuerdo con su contribución y aportes en la investigación y se colocan debajo del título. Con una nota al pie de página indicando la institución para la cual labora(n), la dirección postal y electrónica. Se omiten los grados académicos. El número total de autores no debe ser superior a seis.

Resumen

Se coloca después del nombre de los autores y presenta en forma concisa el mensaje del artículo, describiendo brevemente los materiales y condiciones más relevantes del experimento. Debe indicar el año y lugar, los resultados obtenidos y las conclusiones más importantes. Las oraciones usadas deben ser racionales, objetivas y justificar el porqué de la investigación y el objetivo, evitando describir directamente los materiales y métodos. La extensión no debe exceder las 250 palabras a espacio seguido y en un solo párrafo.

Palabras clave

Debajo del resumen se deben incluir de cinco a siete palabras o frases clave, no deben formar parte del título.

Introducción

Define el problema que motiva la investigación y al final de esta sección se indican los objetivos o razones del estudio. Pueden incluirse

citas bibliográficas para ayudar a la definición del problema y del trabajo. La extensión de esta debe ser de aproximadamente 350 palabras (MAG 1990).

Materiales y métodos

En esta sección se recomienda describir en forma bien detallada la ubicación, la fecha de inicio y término, el ambiente, los materiales (si se usa equipo de medición, incluir marca y modelo), las técnicas, los tratamientos, el diseño experimental, los análisis estadísticos y las variables a evaluar expuestas con suficiente claridad para que otros científicos puedan repetir el estudio. Si el método es muy conocido, solamente se incluyen referencias bibliográficas aclaratorias; si es nuevo o modificado se debe escribir nuevamente. Escribir en orden cronológico (MAG 1990).

Resultados y discusión

Ambas partes deben ir juntas. Los resultados describen la información generada por la investigación; debe escribirse en forma concisa y siguiendo una secuencia lógica, usando cuadros y figuras, a los cuadros se les debe indicar su enunciado en la parte superior y a las figuras en la parte inferior, en ambos casos, si no son propiedad del autor se les debe anotar la fuente. Las fotografías, se anotan como figuras y su numeración se debe ajustar a la misma secuencia. Los cuadros se presentan sin divisiones internas. Los cuadros y figuras deben estar ubicados inmediatamente después de donde se mencionan, deben ser auto explicativos y la información debe presentarse en forma completa, clara y concisa, de tal forma que no se tenga que recurrir al texto para entender el resultado presentado. Los decimales se deben usar de acuerdo al grado de precisión que se tomaron los datos, si no, se debe redondear apropiadamente. Además de la descripción del contenido de la figura, en el título debe contener el lugar y el año en que se hizo el trabajo de investigación.

En la discusión la estadística se debe usar para explicar las diferencias de los tratamientos, debe usarse como una herramienta para probar la(s) hipótesis propuesta(s), con una base objetiva. Suministrar la significancia de las pruebas.

Se discutirán los resultados obtenidos, comparándolos con otros trabajos afines para dar interpretaciones o hacer deducciones lógicas sobre las diferencias o concordancias encontradas.

En la discusión se debe explicar hasta qué punto los resultados obtenidos contribuyen a la solución del problema (limitantes) y qué puede traducirse en recomendaciones, aplicaciones, sugerencias e hipótesis (MAG 1990).

Conclusiones o consideraciones finales

Van incluidas en la discusión.

Literatura citada

La lista de la literatura citada, para todos los tipos de documentos aceptados, debe estar conformada por no menos de diez citas bibliográficas recientes (90 % de los últimos 10 años), las citas deben reforzar científicamente lo expresado en el documento, además deben ser de fácil acceso para consultar en centros de documentación, bibliotecas o internet. Se deben utilizar las Normas de Redacción (IICA-CATIE) en su 5 edición (IICA y CATIE 2016). Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B4013e/B4013e.pdf>

LITERATURA CITADA

Agronomía Mesoamericana, Costa Rica. 2017. Instructivo para los autores/Instructions for authors. (en línea). San José, Costa Rica. 7 p. Consultado 28 abr. 2017. Disponible en <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/about/submissions#authorGuidelines>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica); CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica). 2016. Redacción de referencias bibliográficas. 5 ed. San José, Costa Rica. Bibliotecas IICA-CATIE. 79 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1990. Normas para la publicación de artículos científicos en la revista investigación agrícola. Investigación Agrícola 4(2):3-6.

REVISORES TÉCNICOS

Listado actualizado de revisores técnicos	
Nombre	Institución
Agripina Jenkins Rojas	Universidad Nacional (UNA)
Alejandro Zamora Meléndez	Universidad de Costa Rica (UCR)
Alfredo Alvarado Hernández	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Alfredo Bolaños Herrera	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Allan González Herrera	Universidad Nacional (UNA)
Ana Cecilia Segreda Rodríguez	Consultora
Ana Cecilia Tapia Fernández	Consultora
Andrés Vega Fonseca	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Antonio Bogantes Arias	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Bernardo Mora Brenes	Consultor
Beatriz Molina Bermúdez	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Beatriz Sandoval Carvajal	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Carlos Boschini Figueroa	Universidad de Costa Rica (UCR)
Carlos Cordero Morales	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Carlos Henríquez Henríquez	Universidad de Costa Rica (UCR)
Carlos Luis Loría Quirós	Universidad de Costa Rica (UCR)
Cristina Vargas Chacón	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Cristóbal Villanueva Najarro	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Danilo Pezo Quevedo	Consultor
Dennis Alpízar Monge	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Diógenes Cubero Fernández	Consultor
Edwin Quirós Ramos	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Erick Vargas Carrillo	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Floria Bertsch Hernández	Universidad de Costa Rica (UCR)
Francisco Álvarez Molina	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Francisco Arguedas Acuña	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Francisco Brenes Brenes	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Francisco Casasola Coto	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)
Gaudy Ortiz Rivera	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
German Aguilar Vega	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Gilberto Calderón Araya	La Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA)
Guillermo Araya Umaña	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Gustavo Prado	Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Helga Blanco Metzler	Universidad de Costa Rica (UCR)
Iván Calvo Villegas	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Jessica Castillo Cruz	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Joaquín Salazar Marchena	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Jorge Garro Alfaro	Consultor
Jorge Mora Bolaños	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

Listado actualizado de revisores técnicos	
Nombre	Institución
Juan R. Mora Camacho	Universidad Nacional (UNA)
Juan Mora Montero	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Johnny Montenegro Ballesteros	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Kattia Lines Gutiérrez	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Laura Ramírez Cartín	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Ligia López Marín	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Alpízar Osés	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Calvo Gamboa	Universidad de Costa Rica (UCR) Semillas para el Futuro LEM S.A.
Luis Carrera Hidalgo	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis D. Monge	Consultor
Luis A. Sánchez Chacón	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Fdo. Solano Jiménez	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Luis Vargas Cartagena	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Manuel Carrera Aguilar	Consultor
Marco Corrales Soto	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
María Mesén Villalobos	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Mauricio Chacón Navarro	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Moisés Hernández Chaves	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Nevio Bonilla Morales	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Oldemar Vargas Gutiérrez	Universidad de Costa Rica
Pablo Steven Rodríguez Rodríguez	Consultor
Rafael Orozco Rodríguez	Universidad Nacional (UNA)
Ramón Mexzón Vargas	Universidad de Costa Rica (UCR)
Renato Jiménez Zúñiga	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Ricardo Guillén Montero	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Ricardo Siachoque Bernal	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria-UPRA. Colombia.
Roberto Camacho Montero	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Roberto Ramírez Matarrita	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Roberto Soto Blanco	Consultor
Roberto Tinoco Mora	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Rodolfo Araya Villalobos	Agronomía Mesoamericana
Róger Barrantes Ramírez	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Rolbin Castillo Matamoros	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Rutn Castro Vásquez	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Ruth León González	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Sayra Munguía Ulloa	Consultora
Sergio Abarca Monge	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Steffany Orozco Cayasso	Universidad Nacional (UNA)
Stephahie Quirós Campos	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Victoria Arronis Díaz	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
Walter Peraza Padilla	Universidad Nacional (UNA)
Walter Quirós Ortega	Consultor
William Villalobos Muller	Universidad Nacional (UNA)
William Sánchez Ledezma	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)
William Meléndez Gamboa	Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)
Yannery Gómez Bonilla	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA)

Dirección de la revista

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, oficinas del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sabana Sur, San José, Costa Rica. Dirección electrónica: Iramirez@inta.go.cr. Teléfono 22 31 39 91. Plataforma INTA: www.platicar.go.cr web INTA: www.inta.go.cr

Perspectiva de la revista

La revista Alcances Tecnológicos se publicó por primera vez en el año 2003 con el objetivo de transferir las opciones tecnológicas generadas y validadas por el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, que es el instituto oficial de investigación en Costa Rica. Actualmente la revista somete a estudio artículos enviados por profesionales del sector agropecuario en general. La revista está dirigida a extensionistas del sector agropecuario, productores líderes, organizaciones de productores, empresas privadas y estudiantes entre otros.

En línea

ALCANCES TECNOLÓGICOS: www.platicar.go.cr

Interface electrónica

http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos



Instituto Nacional de Innovación y
Transferencia en Tecnología Agropecuaria