



INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN L 2414-3278

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 38



PANAMÁ-2024
enero - junio

Ciencia Agropecuaria: revista científica/
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá.
no. 38 (enero - junio, 2024). Panamá, PA. Semestral
205 p.
ISSN L 2414-3278
1. Investigaciones Agrícolas
2. Investigaciones Pecuarias



INSTITUTO DE INNOVACIÓN
AGROPECUARIA DE PANAMÁ

ISSN L 2414-3278

Ciencia Agropecuaria

REVISTA CIENTÍFICA N° 38

PANAMÁ-2024
enero - junio

Publicación semestral del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

La versión electrónica de la revista Ciencia Agropecuaria, se puede consultar en:

<http://www.idiap.gob.pa/index.php/revista>

Editor Principal

Ismael Camargo Buitrago, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)

Editora Asociada

Neysa Garrido Calderón, M.Sc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Consejo Editorial

Román Gordón Mendoza, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

José A. Yau, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Hilda Lezcano, Dra. Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) – Universidad de Panamá

Axel Villalobos Córtes, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Juan C. Martínez González, Dr. Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) – México.

Pedro Guerra Martínez, M.Sc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Bruno Zachrisson, Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Sistema Nacional de Investigación (SNI) – Panamá

Diseño y Diagramación

Gregoria del C. Hurtado Chacón Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Melkissedeth Gómez Delgado Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

Revisión y Traducción de resúmenes

Rubén D. Collantes G., Dr. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) – Panamá

CONTENIDO

ARTÍCULOS

- 7-26 **CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE 21 ACCESIONES DE MUSÁCEAS COLECTADAS EN LA COMARCA NGÄBE-BUGLÉ, PANAMÁ**
Ulfrédo Santo-Pineda; Luis Torres-Vargas; Julio Santamaria-Guerra; Gregorio Thomas; Víctor Montezuma
-
- 27-38 **MICROORGANISMOS ASOCIADOS A LA MUERTE DESCENDENTE DEL MARAÑÓN**
Rito Herrera; José Luis Causadías; Melvin Jaén; Carmen Bieberach; Sandra Sopalda; Zanya Aguilar
-
- 39-55 **COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DEL BOVINO CRIOLLO GUAYMÍ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO**
Esteban Arosemena; Axel Villalobos-Cortés; Marcelino Jaén; Selma Franco-Schafer
-
- 56-83 **CAMBIOS EN RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE CORDEROS F1 (PELIBUEY X KATAHDIN Y PELIBUEY X DORPER) BAJO ESTRÉS CALÓRICO**
Héctor Cedeño; Yarina Ambulo; Roberto Saavedra; Enrique Sánchez-Galán; Fernando Gálvez; Tamara Pimentel; Joseph Grajales-Cedeño
-
- 84-104 **EFFECTO DEL ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL ESTADO VEGETATIVO DE LA PLANTA DE CACAO**
Jhon Alexander Villalaz-Pérez; José Ezequiel Villarreal-Núñez; Adolfo Santo-Pineda; Abiel Gutiérrez-Lezcano; Agustín Merino
-

- 105-125 **EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE CADMIO AL SUELO EN PLANTAS DE CACAO DEL CLON AS-CP 2661**
Jhon Alexander Villalaz-Pérez; José Ezequiel Villarreal-Núñez; Adolfo Santo-Pineda; Abiel Gutiérrez-Lezcano; Agustín Merino
-
- 126-143 **PLANTAS HOSPEDANTES DEL PICUDO DEL FRUTO DEL PIFÁ (*Palmelampus heinrichi* O'Brien) EN TOABRÉ, PANAMÁ**
Randy Atencio-Valdespino; Melvin Jaén; Vidal Aguilera-Cogley; Rafael Rincón
-
- 144-163 **TOLERANCIA AL CALOR DE BOVINOS CRUZADOS WAGYU-BRAHMAN BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO HUMEDO, PANAMÁ**
Pedro Guerra-Martínez; José L. Bernal-Rosas; Carlo I. Martínez-Delgado; Aristides A. Villarreal-Ruíz; María M. De Gracia-Victoria; Olegario Ibarra-Guerra
-

NOTAS TÉCNICAS

- 164-175 **MAPA DIGITAL DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE PANAMÁ**
José Ezequiel Villarreal-Núñez; Iván Alexis Ramos-Zachrisson
-

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- 176-194 ***Eciton burchellii* WESTWOOD, 1842 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: DORYLINAE): PLAGA DE LOS APIARIOS Y ALTERNATIVAS DE MANEJO**
Rubén D. Collantes G.; Ruth J. Del Cid A.; Luisa D. Reina; Alonso Santos-Murgas
-

- 195-203 **NORMAS PARA AUTORES**
-

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE 21 ACCESIONES DE MUSÁCEAS COLECTADAS EN LA COMARCA NGÄBE-BUGLÉ, PANAMÁ¹

*Ulfredo Santo-Pineda²; Luis Torres-Vargas³; Julio Santamaria-Guerra⁴;
Gregorio Thomas⁵; Víctor Montezuma⁶*

RESUMEN

En la Comarca Ngäbe-Buglé (CNB) existe gran diversidad de especies del género *Musa*, siendo uno de los cultivos permanentes de mayor importancia, para la seguridad alimentaria de estas comunidades. El estudio se realizó con el objetivo de valorar y conservar cultivares de musáceas colectados en la CNB y determinar a través de una caracterización morfológica la variabilidad fenotípica en 21 accesiones y clasificarla en grupos. Se emplearon los descriptores estandarizados para el banano y plátano. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, análisis de componentes principales y análisis de conglomerado. Se encontró mayor variabilidad en las estructuras que componen la flor y el fruto, siendo los descriptores cuantitativos los de mayor representatividad (CV>25%) y en los descriptores cualitativos sobresalen manchas en la base de peciolo, estructura que compone la yema masculina, la posición, apariencia, color y sabor del fruto. El análisis de componentes principales explica una variabilidad acumulada de 77% en las variables cuantitativas y 70,3% en las cualitativas, determinando un total de 29 variables (14 cuantitativas y 15 cualitativas) con mayor poder discriminante (coeficiente $\geq 0,60$). El análisis de conglomerado combinado permitió agrupar las accesiones en cuatro grupos diferentes (MANOVA; $P < 0,0001$) y su característica fenotípica. Los caracteres como altura de la planta, aspecto de pseudotallo, ancho y longitud de la lámina, aspecto de la yema masculina, de color de la pulpa antes y después de la madurez, forma y longitud del fruto, y su sabor fueron las variables discriminantes que más contribuyeron a separar los grupos.

Palabras claves: Clones comestibles, descriptores morfológicos, diversidad fenotípica, grupos genómicos, recursos filogenéticos.

¹Recepción: 15 de septiembre de 2022. Aceptación: 10 de mayo de 2023.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria Comarca Ngäbe-Buglé (CIA-CNB) Ing. Cultivos Tropicales. e-mail: uspineda08@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8255-7264>

³IDIAP. CIA-CNB. Ph.D. Agroecología. e-mail: lujstorres_73@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-8545-2312>

⁴IDIAP. CIA - Chiriquí. Ph.D. Innovación Institucional. e-mail. juliosguerra@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0215-2599>

⁵IDIAP. CIA-CNB. Ing. Zootecnista. e-mail: gthomasp23@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-2307-8921>

⁶IDIAP. CIA-CNB. Agr. e-mail: vmontezumag02@hotmail.com



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF 21 MUSACEAE ACCESSIONS COLLECTED IN THE NGÄBE-BUGLE REGION, PANAMA

ABSTRACT

In the Ngäbe-Buglé Comarca (CNB) there is a great diversity of *Musa* species, being one of the most important permanent crops for the food security of these communities. The aim of the study was to evaluate and preserve musacea cultivars collected in the CNB and to determine the phenotypic variability in 21 accessions through a morphological characterization and classifying it into groups. For the study, the standardized descriptors for banana and plantain were used. Data were analyzed using descriptive statistics, principal component analysis, and cluster analysis. Greater variability was found in the structures that make up the flower and the fruit, the quantitative descriptors being the most representative ($CV > 25\%$) and in the qualitative descriptors spots stand out at the base of the petiole, a structure that makes up the male bud, the position, appearance, color and flavor of the fruit. The principal component analysis explains a cumulative variability of 77% in the quantitative variables and 70.3% in the qualitative ones, determining a total of 29 variables (14 quantitative and 15 qualitative) with greater discriminating power (coefficient ≥ 0.60). The combined cluster analysis allowed the accessions to be grouped into four statistically different groups (MANOVA; $P < 0.0001$) and their phenotypic characteristics. Characters such as plant height, pseudostem aspect, blade width and length, male bud aspect, pulp color before and after ripening, fruit shape and length, and its flavor were the most discriminating variables they helped separate the groups.

Keywords: Edible clones, morphological descriptors, phenotypic diversity, genomic groups, phylogenetic resources.

INTRODUCCIÓN

El banano y plátano (*Musa* spp., grupos AAA y AAB) pertenecen a la familia Musáceas, que se divide en tres subfamilias. La subfamilia Musoidea, que está formada por dos géneros (*Ensete* y *Musa*), que es muy conocidos y difundido por todo el mundo; el género *Musa* está constituida por dos especies silvestre *Musa acuminata* (A) y *Musa balbisiana* (B), siendo esta la de mayor interés para la seguridad alimentaria, ya que por su naturaleza partenocárpica, incluye un gran número de clones comestibles (Rodríguez et al., 2006; Marcelino et al., 2012).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

A nivel mundial las Musáceas comestible son una de las frutas tropicales más importante, ya que es el alimento básico para millones de personas de escasos recursos; además, se han convertido en el cuarto alimento de importancia a nivel mundial después del arroz, trigo y maíz (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2012; Brenes, 2017).

En Panamá, el banano y el plátano son parte integral de la canasta básica familiar del panameño, con un consumo per cápita de 35,65 kg, el segundo en América Latina y también, la segunda fuente de suministro de carbohidratos (22%), superado solamente por el arroz (Marcelino et al., 2012). La superficie sembrada de este rubro en el país durante 2017 fue de 16,740 ha⁻¹ de banano (35,8%) y plátano (64,2%), y en la comarca se registra el 17,31% explotaciones que incluían banano o guineo y 4,33% plátano, con relación a la explotación total nacional (Instituto Nacional de Estadística y Censo de la Contraloría General de la República de Panamá [INEC], 2011; Ministerio de Desarrollo Agropecuario [MIDA], 2018).

La diversidad de musáceas en la comarca Ngäbe-Buglé (CNB) ha jugado un papel importante en los sistemas de producción de la agricultura familiar esta fundamentalmente destinada para el autoconsumo, ventas en mercado locales y para la alimentación animal, lo que demuestra su importancia y valor nutricional, económica y social del cultivo para la familia (Lao y Samaniego, 1994; Autoridad Nacional del Ambiente - Agencia de Cooperación Técnica Alemana [ANAM-GTZ], 2003). Dicho esto, los productores tradicionalmente mantienen y conservar cultivares, seleccionando característica de interés y de mayor capacidad productiva dentro del agroecosistemas, para posteriormente convertirlo en componente central de los sistemas productivos en el proceso de transición agroecológica, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y nutricional, y a la sostenibilidad del modo de vida de la comunidad indígena (López et al., 2008; Santamaría-Guerra y Gonzáles, 2015).

En los últimos años el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) ha dedicado grandes esfuerzos en coleccionar en las tres regiones de la CNB, materiales vegetales de importancia para la seguridad alimentaria y nutricional de la familia Ngäbe-Buglé. Materiales locales que posee un alto grado de diversidad genética y de suma



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

importancia para el productor debido a que estas accesiones de musáceas poseen propiedades nutraceuticas desde la perspectiva del productor; además, tienen la capacidad de resistir y recuperarse ante plagas y enfermedades, como a la variabilidad climática. Como resultado de las actividades de prospección de germoplasma vegetal, el IDIAP cuenta con un banco de germoplasma de musáceas con 31 accesiones (Instituto Internación de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaría de España [INIA], 2001; Torres et al., 2019).

Bajo el escenario descrito anteriormente resulta fundamental desarrollar esta investigación con el objetivo de valorar y conservar las accesiones de musáceas colectadas en la CNB y determinar a través de una caracterización morfológica, la variabilidad fenotípica que contribuye en la diferenciación de las accesiones y clasificarla en grupos. Información base que permitirá profundizar en la comprensión de la diversidad de musáceas que se encuentran en la CNB, para posteriormente se puedan realizar selecciones de accesiones promisorias como alternativas tecnológicas, en beneficio de la seguridad alimentaria y nutricional de la agricultura familiar Ngäbe-Buglé.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

Se desarrolló durante el periodo de marzo 2017 a diciembre 2019 en la localidad de Santa Marta, corregimiento de Tubuai, región Ño Kribo de la CNB en las coordenadas 9°03'28.35" latitud N y 82°18'44.13" longitud O a 35 msnm geográficamente situado en los límites con la provincia de Bocas del Toro.

Se basó en una caracterización morfoagronómica de 21 accesiones de musáceas que hace parte del banco de germoplasma del IDIAP de la CNB (Cuadro 1). Para la caracterización se emplearon los descriptores cualitativos y cuantitativos para *Musa* spp. y para la toma de datos se consideró los criterios plasmados por el Sistema de Descriptores Mínimos para el Banano y Plátano de la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, el Instituto Internacional de Recurso Filogenéticos y Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (INIBAP-IPGRI-CIRAD, 1996), los datos se tomaron en tres plantas adyacentes entre sí por accesión según la metodología propuesta por Parra et al., 2009.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Adiciones de la colección de musáceas del CIA-CNB empleadas en la caracterización morfoagronómica.

Región	Distrito	Localidad	Georeferenciación (UTM)	Nombre Común	Código	Sub grupo	Genoma
Kodiriri	Ñurum	Llano Ñopo	433150; 937746	Manzano	ACC2	Cavendish	AAB
Ñokribo	Gironday	Pueblo Mesa	377135; 979335	4 filo	ACC3	Pelipita	ABB
Nedrini	Nole Duima	Algarrobo	404398; 928633	Guineo-plátano	ACC4	Pelipita	ABB
Kodiriri	Ñurum	Cerro Papayo	434435; 937113	Manzano	ACC7	Cavendish	AAB
Ñokribo	Kankintù	Nueva Estrella	354930; 992262	Guineo	ACC8	Cavendish	AAA
Kodiriri	Muna	Sitio Prado	402541; 926568	Mesano	ACC9	Cavendish	AAB
Nedrini	Besiko	Hacha	390313; 922381	Guineo patriota	ACC10	Plantain	AAB
Ñokribo	Kankintù	Nueva Estrella	354930; 992262	Guineo Mora	ACC12	Cavendish	AAA
Nedrini	Mirono	Cerro Mesa	404526; 928538	Patriota	ACC13	Cavendish	AAB
Ñokribo	Gironday	Nueva Estrella	354930; 992262	S/N	ACC14	Pelipita	ABB
Nedrini	Mirono	Cerro Mesa	404526; 928538	Cuadrado blanco	ACC16	Pelipita	ABB
Nedrini	Mirono	Hato Pilón	404398; 928633	Manzano	ACC19	Cavendish	AAB
Nedrini	Mirono	Qda Chácara	402541; 926568	Cuadrado	ACC20	Pelipita	ABB
Nedrini	Besiko	Boca de Balsa	386308; 943107	Bota jota	ACC21	Plantain	ABB
Nedrini	Nole Duima	Alto Ratón	408473;945234	Banano	ACC23	Cavendish	AAA
Nedrini	Mirono	Cerro Mesa	404058; 926757	Bloo Taim	ACC24	Red	AAA
Ñokribo	Gironday	Pueblo Mesa	377135; 979335	Patriota	ACC26	Plantain	AAA
Nedrini	Nole Duima	Alto Ratón	408473;945234	Guineo Negro	ACC27	Cavendish	AAA
Ñokribo	Gironday	Barran Quilla	354930; 992262	Buchú (orito)	ACC29	Cavendish	AAA
Ñokribo	Kankintù	Norteño	355331; 996044	Buchú (orito)	ACC31	Cavendish	AAA
Ñokribo	Gironday	Nueva Estrella	354930; 992262	Guineo	ACC32	Cavendish	AAA



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Diseño experimental

Las 21 accesiones fueron establecidas bajo el diseño de parcela simple. El área experimental fue de 38 m x 23 m (874 m²) dividida en dos secciones. Cada accesión se sembró en surco de 8 m lineal, compuesta por cinco plantas como unidad experimental, a una distancia de 2 m entre plantas y 2,50 m entre accesiones. Al momento de la plantación en cada hoyo se aplicó lombricomposta a razón de 0,5 kg/plantas en la siembra y posteriormente una fertilización de 0,5 kg/plantas en la floración y fructificación; según las normas del manual del cultivo del Plátano en Panamá.

Análisis estadístico

Para las variables cuantitativas y cualitativas se realizaron análisis descriptivo: tabla de frecuencia, promedio, desviación estándar (DE), mínimo, máximo y coeficiente de variación (CV). Para este último fueron considerado indicadores de baja variabilidad ($CV \leq 25\%$) referido por (Franco e Hidalgo, 2003). Para conocer la variabilidad de los rasgos fenotípicas presente en las accesiones, los datos se sometieron a los análisis multivariados de acuerdo al procedimiento descrito por Franco e Hidalgo (2003) y Caicedo (2015), como el Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar los descriptores que mostraban mayor variabilidad. Se realizó el análisis de conglomerado combinado por el método de agrupamiento de Ward y distancia de similaridad de Gower. Este último incluyó solamente las variables cuantitativas y cualitativas con mayor poder discriminante de acuerdo con el ACP. Los análisis se realizaron con el programa InfoStat/versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica de las accesiones

Las 21 accesiones evaluadas mostraron buen desarrollo fenológico a las de su sitio de origen. Los valores de tendencia central obtenidos de los descriptores cuantitativos en los que se aprecia poca variabilidad entre las accesiones en la fase vegetativa, ya que el coeficiente de variación no supera el 25% (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Chipana (2017) y Pérez (2012) quienes señalan que en su gran mayoría estos caracteres tienen una alta heredabilidad y presenta poca variabilidad en esta etapa.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se detectaron en la etapa de inflorescencia y fructificación mayor variabilidad fenotípica en las siguientes variables: forma de la bráctea masculina (FBrM) (CV=44,75), el tamaño de la yema masculina (TYM) (CV=38,70), el peso del racimo (PR) (CV=50,82), seguido de la longitud del fruto (LF) (33,11), frutos totales (NFT) (CV=31,47) y levemente en el ancho de los márgenes del peciolo (AMPE) (CV=26,29) y número de frutos centrales (NFC) (CV=27,74).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de la etapa vegetativa, floración y fructificación de datos cuantitativos de 21 accesiones de musáceas evaluadas.

Etapa	Variables		Estadísticos					
			n	Media	DE	CV	Mín	Máx
Vegetativa	Altura de la planta (cm)	AP	21	333,81	65,49	19,62	236,0	448,0
	Diámetro del pseudo tallo (cm)	DpsT	21	49,73	6,14	12,34	41,3	67,7
	Ancho de los márgenes del peciolo (cm)	AMPe	21	2,42	0,64	26,29	1,3	3,5
	Longitud de la lámina (cm)	LL	21	226,95	49,11	21,64	144,0	305,0
	Ancho de la lámina(cm)	AL	21	67,52	8,07	11,95	58,0	85,0
	Long. del peciolo (cm)	LPe	21	55,10	12,01	21,79	35,0	74,0
Floración	Long. del pedúnculo (cm)	LPed	21	51,06	10,26	20,09	36,0	74,0
	Diámetros de pedúnculo (cm)	Dped	21	13,37	3,20	23,95	6,5	19,0
	Tamaño de la yema masculina (cm)	TYM	21	16,14	6,25	38,70	8,0	30,0
	Forma de la Brácteas masculina (a*I)	FBrM	21	160,33	71,75	44,75	73,0	282,0
Fruto (cosecha)	Números de frutos centrales (dedos)	NFC	21	14,10	3,91	27,74	6,0	21,0
	Números de frutos (total de dedos)	NFT	21	97,00	30,52	31,47	51,0	162,0
	Long. de fruto (cm)	LF	21	13,95	4,62	33,11	8,6	25,4
	Diámetro de fruto (cm)	DF	21	12,63	2,11	16,69	9,8	16,9
	Long. Del pedicelo del fruto (cm)	LPeF	21	1,65	0,32	19,15	1,1	2,2
	Ancho del pedicelo del fruto (cm)	APeF	21	0,99	0,18	18,29	0,7	1,3
	Peso del racimo (kg)	PR	21	10,88	5,53	50,82	3,6	25,5
	Números de manos	NM	21	6,76	1,34	19,79	4,0	9,0

DE=desviación estándar; CV=coeficiente de variación; Min= mínimo; Max= máximo

En cuanto a los descriptores cualitativos, se observó que el 38% de la población muestra pocas manchas en la base del peciolo, el 43% presentan yema masculina de tipo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ovoide, el 57% con brácteas surcadas, colores variables en la flor masculina, por lo que el color crema es el que predomina en las estructuras de la flor (tépalo compuesto y el ovario); además, el 86% presenta forma recta del estilo y el 62% con tinte amarillo en el ápice de la bráctea. En la parte fructífera el 52% presenta una posición de fruto pendular vertical, de apariencia compacta y de color blanca a crema de la pulpa ante la madures y el 71% con raquis curvada.

Los resultados descriptivos corresponden a lo reportado por González et al. (2009); Hoyos et al. (2012); Gerónimo et al. (2013), quienes mencionan que mientras más bajo sea el coeficiente de variación en un conjunto de caracteres la variabilidad fenotípica será menor en un grupo de cultivares, variedades o accesiones. Además, señalan que se observa mayor variabilidad a partir de la floración y fructificación; debido a que estas características están muy relacionada a su conformación genética y a factores agroclimáticos.

Análisis de componentes principales (ACP)

En el ACP de los descriptores cuantitativos se muestra una variación acumulada de 77% en cuatro componentes (Cuadro 3), siendo el CP 1 que explica el 31,9%, el CP 2 el 20,8% y el CP 3 el 16,4% y el CP 4 el 7,8% de la varianza lo cual es suficiente para poder decir que existe una alta variabilidad entre las accesiones. En este análisis se consideraron los cuatros primeros componentes, siguiendo el criterio de Cliff (1987) y Caicedo (2015) que considera como aceptable los componentes cuyos valores propios expliquen un 70% o más de la varianza total (Instituto Internacional de Recurso Fitogenéticos [IPGRI], 2003).

Las variables que contribuyeron de manera positiva y negativa a la formación de cada componente principal se observan en el Cuadro 3. Para el CP 1, fueron el número de fruta centrales (NFC), longitud de peciolo (LPe), número de frutos totales (NFT), altura de la planta (AP), longitud de la lámina (LL) y el ancho de la lámina (AL). Para el CP 2 fueron las variables el ancho de los márgenes del peciolo (AMPe), diámetro de pedúnculo (DPed), diámetro fruto (DF) y peso del racimo (PR). Para el CP 3 contribuyeron el número de mano (NM), forma de la bráctea masculina (FBrM), tamaño de yema masculina (TYM). Por último, para el CP 4 la longitud del fruto (LF).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 3. Análisis de componente principales de los descriptores cuantitativos.

Componentes	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
Autovalores	5,74	3,75	2,95	1,41
Porcentaje del componente	31,9	20,9	16,4	7,8
Porcentaje acumulado	31,9	52,7	69,2	77

Variables	COMPONENTES PRINCIPALES			
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
AP (cm)	0,7932	-0,0666	0,0251	-0,2079
DpsT (cm)	-0,3970	0,4504	0,1913	0,2919
AMPe (cm)	-0,0364	0,7048	-0,4812	0,2203
LL (cm)	0,7266	0,4890	0,2888	-0,0028
AL (cm)	-0,6472	0,4154	0,0436	0,3720
LPe (cm)	0,8750	0,2337	0,1074	0,0270
LPed (cm)	0,1462	0,5657	0,1495	-0,2388
Dped (cm)	-0,0648	0,7058	0,0703	0,1157
TYM (cm)	-0,2281	-0,4528	0,7640	-0,0822
FBrM (a*i)	-0,3152	-0,1812	0,8480	-0,0825
NFC	0,8912	0,2717	0,0188	-0,1082
NFT	0,8401	0,1211	0,0808	0,4181
LF (cm)	-0,3979	-0,4517	-0,0688	0,7445
DF (cm)	-0,6383	0,6616	-0,0775	-0,2192
LPeF (cm)	0,5342	0,4688	0,3490	0,3865
APeF (cm)	-0,5866	0,3334	0,4507	-0,0620
PR (kg)	-0,5165	0,6715	0,3554	-0,2025
NM	0,3225	-0,1253	0,8907	0,1851

Las 21 accesiones sobre el primer y segundo componente, mostraron una alta dispersión (Figura 1). Esto se debe a la vinculación que existe en las variables en el CP 1 como altura de la planta (AP), longitud de la lámina (LL), longitud de peciolo (LPe), número de frutos centrales (NFC), frutos totales (NFT) y el CP 2 con el diámetro de pedúnculo (Dped), diámetro del fruto (DF) y peso de racimo (PR). Es posible que esta gran variación se debe al grupo genómicos (AAA, AAB y ABB) a la que pertenecen y al área geográfica en la que fueron colectados. Esto último lo confirman Díaz et al. (2011) y Ali (2014) que evidencian la interacción genotipo – ambiente que existe en un grupo genómico de accesiones de musáceas. Por otro lado, las variables diámetro del fruto (DF), peso de racimo (PR), número de mano (NM) longitud de fruto y tamaño de la yema masculina (TYM) fueron la de mayor contribución, por estar más distante del origen.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 4. Análisis de los componentes principales de los descriptores cualitativos.

Componentes	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Autovalores	5,6	4,9	3,8	3,0	2,4
% del componente	19,9	17,4	13,6	10,7	8,6
% acumulado	20,0	37,3	51,0	61,7	70,3

Variables	COMPONENTES PRINCIPALES				
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Canal del pecíolo de la hoja N° 3 (CaPeH3)	-0,425	-0,589	0,405	-0,316	0,314
Márgenes del pecíolo (MaPe)	-0,470	-0,662	-0,149	-0,055	0,308
Forma de la base de la lámina (FBL)	0,530	0,196	0,312	-0,102	0,169
Borde de los márgenes del pecíolo (BMP)	-0,018	-0,277	0,075	0,669	-0,445
Aspecto de las alas (AA)	-0,489	-0,464	0,254	0,247	0,322
Manchas en la base del pecíolo (MBPe)	0,155	0,078	0,732	-0,600	0,006
Aspecto de la yema masculina (AYM)	-0,595	-0,197	-0,517	0,016	-0,194
Color de la cara interna brácteas (CCInBr)	0,487	-0,258	-0,234	0,419	0,575
Forma del estilo (FEs)	0,824	-0,398	-0,004	0,020	0,208
Color dominante de la flor masculina (CDFM)	0,592	-0,395	-0,104	0,353	0,444
Color del ápice de las brácteas (CABr)	-0,356	-0,104	0,491	0,384	0,099
Comportamiento de las brácteas antes de caer (CBrAC)	-0,103	0,795	-0,162	0,205	0,152
Pigmentación del estilo (PgE)	-0,263	-0,027	-0,685	0,263	-0,302
Forma del ovario (FO)	0,242	-0,273	-0,643	-0,337	-0,073
Presencia de cera brácteas. (PCBr)	-0,618	0,108	-0,335	0,138	0,565
Presencia de surco brácteas (PSBr)	0,453	-0,428	-0,358	0,032	0,067
Excreción del estilo (ExE)	0,387	0,354	-0,505	-0,239	-0,328
Color del pedúnculo. (Cped)	0,531	-0,302	0,225	0,109	-0,206
Posición del racimo (PR)	-0,119	0,861	-0,188	0,076	0,164
Forma del racimo (FR)	-0,582	0,110	-0,142	-0,456	0,136
Apariencia del racimo (AR)	0,131	0,737	-0,130	0,382	0,126
Posición fruto (PF)	-0,579	-0,472	-0,109	-0,042	-0,199
Forma del fruto (FF)	0,023	0,536	0,412	0,501	-0,053
Fusión del pedicelo del fruto (F-PedF)	-0,095	0,442	-0,152	-0,428	0,650
Color de la cascara inmaduro (CCI)	0,182	-0,072	0,461	-0,269	-0,343
Color de la pulpa antes de la madures (CPAM)	0,705	-0,298	-0,148	0,240	0,133
Color de la pulpa a la madurez (CPM)	0,186	-0,239	-0,616	-0,301	-0,102
Sabor predominante (SP)	0,676	0,211	-0,082	-0,493	0,104



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La relación entre las variables (Figura 2), permite separar las accesiones entre sí. Las variables que permitieron detectar dicha variación para el caso del CP 1 fueron: forma del estilo (FEs), color dominante de la flor masculina (CDFM), color de la pulpa antes de la madurez (CPAM), y en el CP 2 se señalan el comportamiento de las brácteas antes de caer (CBrAC), forma del fruto (FF), y la apariencia del racimo (AR). Resultado de hacer énfasis en la estructura floral y frutos. Por otro lado, las variables de mayor contribución, por estar más distantes del origen resultaron ser: márgenes del peciolo (MaPe), posición del racimo (PR), aspecto de la yema masculina (AYM) y sabor predominante del fruto maduro (SP).

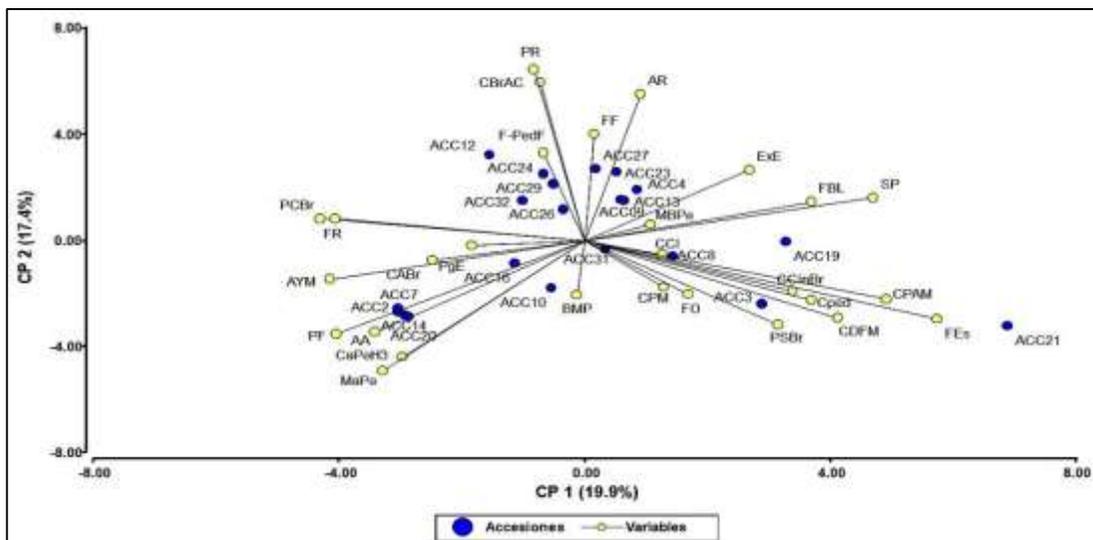


Figura 2. Distribución gráfica de las accesiones y variables según el ACP basada en los descriptores cualitativos analizadas.

Análisis de conglomerado jerárquico

El análisis de conglomerado combinado por el método Ward y la distancia Gower considerando las variables con coeficiente $\geq 0,60$ en el ACP (14 variables cuantitativas y 15 variables cualitativas) agrupa a las accesiones evaluadas en cuatro grupos estadísticamente diferentes (MANOVA; $P < 0,0001$) con su respectivo subgrupo como se observa en el Dendograma (Figura 3). Resultados que coinciden con estudios similares de González et al. (2009); Navia (2015); Chipana (2017) que, a partir de los ACP, definieron 29 descriptores (entre 8 a 14 cuantitativos y 17 cualitativos) que fueron capaces de aportar a la diferenciación y conformar grupos.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El grupo 3 con el 33% de la población es la que contiene el mayor número de accesiones (siete), que a su vez se subdividen en tres subgrupos. Agrupa accesiones colectadas en la región Nedrini y Ño kribo con aspecto del pseudotallo entre débil-normal, de pocas manchas en la base del peciolo, de un tamaño de la yema masculina de 18 cm, un diámetro de fruto intermedio 12,45 cm, con forma del fruto recto-curvo poco marcada, con cinco manos por racimo. Seguido el grupo 1 con 28% de la población (seis accesiones) y compuesta por dos subgrupos. Lo integra las accesiones colectadas en la región de Nedrini y Kodriri con la mayor longitud de la lámina (≥ 261 cm), con pigmentación extensa en la base de peciolo, de menor diámetro del fruto (10,8 cm) y siete manos por racimo.

El grupo 2 y 4 con el 19% de la población y dividida en dos subgrupos están constituidos en ambos casos por el menor número de accesiones (Cuadro 5). Por otro lado, el análisis resaltó la estrecha similitud entre el grupo 2 con el grupo 4, pudiendo tratarse de accesiones muy cercanas.

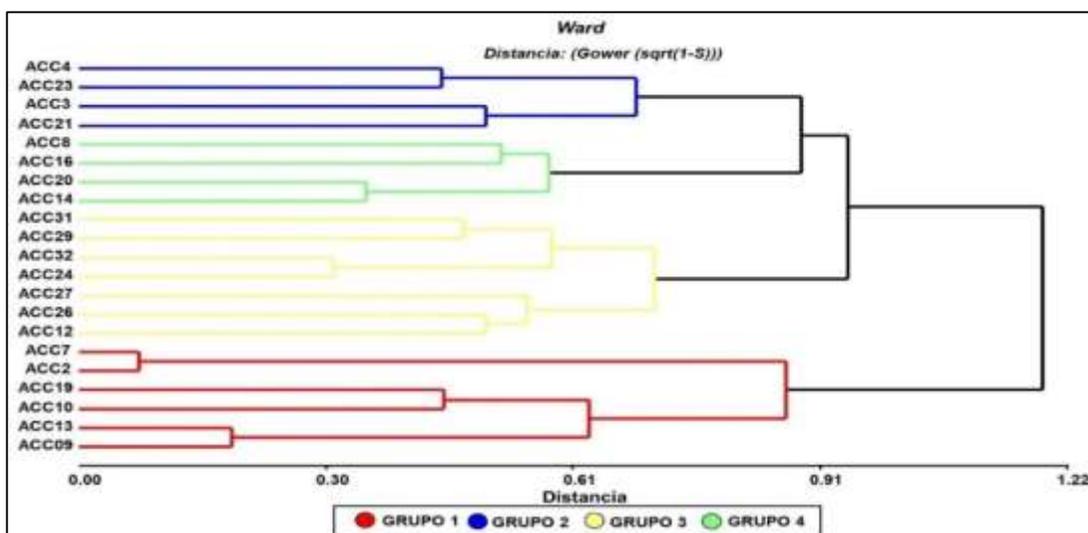


Figura 3. Análisis de conglomerado jerárquico de las variables cuantitativas y cualitativas usando el método de Ward y el coeficiente de similitud de Gower.

El grupo 2 con el grupo 4 encierran características morfológicas semejantes en los caracteres ancho de la lámina, forma de las brácteas, posición del racimo, número de fruto centrales, total de fruto y diámetro del fruto. En general, los grupos difieren en la altura de la planta, aspecto de pseudotallo, aspecto de la yema masculina, color de la pulpa antes y después de la madures, forma y longitud del fruto y su sabor (Cuadro 5).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 5. Descripción cuantitativa y cualitativa que caracteriza a los conglomerados (grupos) formados.

Características	Conglomerados			
	Grupo 1 6 accesiones	Grupo 2 4 accesiones	Grupo 3 7 accesiones	Grupo 4 4 accesiones
Altura de la planta (cm)	370,83	244,25	360,71	320,75
Aspecto de pseudotallo	Normal	Normal	Débil-normal	Robusto
Longitud de la lámina (cm)	≥ 261	≤ 170	221-260	221-260
Ancho de la lámina (cm)	≤ 70	71-80	≤ 70	71-80
Canal del pecíolo de las hojas III	Abierto con márgenes rectos y retorcidos hacia el interior	Abierto con márgenes alados	Abierto con márgenes rectos	Estrecho con márgenes rectos
Márgenes del pecíolo	Alado y ondulado	Alado y no estrechado	Alado-ondulado y no estrechado	No alado y estrechado
Manchas en la base del pecíolo	Pigmentación extensa	Pequeñas	Pocas	Pocas
Tamaño de la yema masculina (cm)	14,17	12	18	16
Forma de la bráctea masculina	0,28 < x/y < 0,30	> 0,30	< 0,28	> 0,30
Aspecto de la yema masculina	Intermedia	Trompo	Intermedio	Ovoide
Color de la cara Interna bráctea	Amarillo	Rosado malva	Rosado malva	Rosado malva
Presencia de surco bráctea	Poco surco	Muy surcada	Surcada	Surcada
Pigmentación del tépalo compuesto	Poco	Sin pigmento	Salpicada	Presencia de color rosado
Forma del estilo	Con una curva en la base	Con una curva bajo el estigma	Recto	Recto
Color básico del ovario	Crema-verde	Crema	Crema	Crema-amarillo
Forma del ovario	Recto	Arqueado	Recto	Arqueado
Posición del racimo	Pendular vertical	Pendular vertical	Oblicuo a 45°	Pendular vertical
Apariencia del racimo	Compacto	Flojo	Muy compacto	Compacto
Número de frutos central	≥ 17	≤ 12	13-16	≤ 12
Frutos totales	135	78	87	76
Longitud del fruto (cm)	≤ 15	16-20	≤ 15	≤ 15
Diámetro del fruto (cm)	10,83	14,18	12,45	14,33
Forma del fruto	Recto poco marcado	Rectos en la parte distal	Recto-curvo poco marcada	Rectos en la parte distal
Ancho del pedicelo del fruto (mm)	5 a 10	5 a 10	≤ 5	≥ 10
Color de la pulpa antes de la madurez	Blanco	Crema	Blanco-crema	Blanco-crema
Color de la pulpa a la madurez	Blanco-crema	Crema-amarillo	Crema-amarillo	Blanco-crema amarillado-anaranjado
Peso del racimo (kg)	8,38	10,36	6,13	18,02
Número de mano	7	6	5	8
Sabor predominante	Astringente-suave	Dulce-ácido	Dulce-suave	Dulce-suave



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La diferenciación entre los grupos se debe probablemente a los atributos morfológicos característicos de los grupos genotípicos (banano, guineo y plátano). En efecto una caracterización de esta naturaleza constituye una principal herramienta para clasificar cultivares o variedades de bananos y plátanos diferenciándolos según Rodríguez et al. (2006); González et al. (2009); González et al. (2011); Ticona y Condori (2018).

CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones edafoclimática de este experimento fue posible distinguir variabilidades fenotípicas en las 21 accesiones de musáceas estudiadas con 29 descriptores morfoagronómicos empleados.
- A partir del ACP, 14 descriptores cuantitativos, manifestó el 77% de la variabilidad explicada por cuatro componentes principales y 15 descriptores cualitativos constituido por cinco componentes explicaron el 70,3% de la variabilidad total. Estos descriptores permitieron diferenciar y agrupar las accesiones en cuatro grupos.
- Los descriptores cualitativo y cuantitativo con mayor capacidad discriminante y que contribuyeron a la separación de los grupos fueron la forma y tamaño de la yema masculina, pigmentación del tépalo compuesto, longitud y diámetro de fruto, peso y apariencia del racimo, número de mano, frutos centrales y totales, color de la cascara inmaduro, caracteres observados y diferenciado en todas las accesiones.
- Los materiales en estudio y caracterizados son aptos para el consumo en general. Se pudo apreciar que el grupo dos compuesto por cuatro accesiones (cuatro filos, guineo-plátano, bota jota y banano) y el grupo 4 con siete accesiones (guineo moro, bloo taim, patriota, guineo negro, bucho y guineo) se encontraron diferencias importantes en cuanto al rasgo agronómico favorable tanto en el rendimiento como su sabor. Estos grupos presentaron, por ejemplo, el color de la pulpa del fruto tonalidades crema-amarillo y amarillo-anaranjado.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RECOMENDACIÓN

- Ampliar el estudio en el campo molecular y agronómica de las accesiones para la determinación del grupo a la que pertenece (banano o plátano).
- Realizar una caracterización nutricional de cada accesión, ya que estas inciden en la seguridad alimentaria de las comunidades Ngäbe-Buglé.

REFERENCIAS

- Ali, C. G. (2014). Caracterización morfológica de guineo y plátanos, en San Pablo y Primavera. Beni-Bolivia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Beni José Ballivián, Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amazonia*, (4), 28-36.
- Autoridad Nacional del Ambiente - Agencia de Cooperación Técnica Alemana. (2003). Proyecto Agroforestal Ngöbe. La agricultura de los Ngöbes, PA. tomo IV, 120p.
- Brenes, G. S. (2017). Parámetros de producción y calidad de los cultivos de banano FHIA-17, FHIA-25 y Yangambi. *Agron Mesoam.*, 28 (3), 719-733. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v28n03_719.pdf
- Caicedo, A. A. (2015). Caracterización y evaluación morfológica, física y química de introducciones del banco de germoplasma de musáceas en el Centro de Investigación Corpoica Palmira. Facultad de Ciencia Agropecuaria. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58986>
- Chipana, C. M. (2017). Caracterización agromorfológica de seis variedades del género Musa en la estación experimental de Sapecho, Alto Beni – La Paz. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. 112 p. <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/15250>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2012). Dirección de Estadística - FAOSTAT. Sobre la productividad, área sembrada y



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

rendimiento de banano y plátano en Latinoamérica y el Caribe.
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Franco, T. L., e Hidalgo, R. (eds.). (2003). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia 89 p.

Gerónimo, F. G., Ibarra, Q. R., Navia, M., y Aguirre, G. (2013). Caracterización Morfológica de Plátano (*Musa paradisiaca* L.) en la Provincia de Nor Yungas de la Paz y Provincia Chapare de Cochabamba, Bolivia. Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinaria. Universidad Mayor de San Simón. *Agrociencias Amazonia*, 1(2): 35-41

González, D. L., Ramírez, P. T., Molina, C. O., Rodríguez, M. S., y Mollineda, H. (2011). Diferenciación genética y formación de grupos taxonómicos en genotipos diploides del género *Musa*. Instituto de Investigación en Viandas Tropicales (INIVIT), *Agrisost*, 17(2), 62-73. <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/agrisost/article/view/357>

González, L., Ramírez, T., Rodríguez, S., Román, M., Hernández, M., Beovides, Y., Gálvez, J., y Álvarez, E. (2009). Características morfo-agronómicas de genotipos de plátanos (*Musa* spp.) pertenecientes al banco de Germoplasma del INIVIT. Instituto de Investigación en Viandas Tropicales (INIVIT), *Revista Centro Agrícola*, 36(2), 31-39.

Hoyos, J., Jaramillo, P., Giraldo, A., Dufour, D., Sánchez, T., y Lucas, J. (2012). Caracterización física, Morfología y evolución de las curvas de emplastamiento de musáceas (*Musa* spp.). Facultad de Ciencias Agroindustriales, *Programa de Ingeniería de Alimentos-Colombia*, 61(3), 214-229.

Instituto Nacional de Estadística y Censo de la Contraloría General de la República de Panamá. (2011). VII Censo Nacional Agropecuario.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Instituto Internación de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaría de España. (2001). Planificación de una colecta de germoplasma (ficha).

Instituto Internacional de Recurso Fitogenéticos. (2003). Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico número 8, 94 p.

Lao, E., y Samaniego, G. (1994). Agroforestería Ngöbere: Estudio de sistemas tradicional, Remedio, San Félix, San Lorenzo. Proyecto Agroforestal Ngöbe. INRENERA-GTZ. Documento Ngöbe. San Félix, PA. Tomo 10, 120 p.

López, G. P., Gonzales G. J., Soriano, N. J., y Lamarillo, N. J. (2008). Recurso genético de interés agroecológico en Andalucía. Red Andaluza de semilla "Cultivando Biodiversidad". Secretaria General Técnicas ES. 351 p.

https://www.juntadeandalucia.es/opencms/opencms/system/bodies/contenidos/publicaciones/pubcap/2008/pubcap_2669/Recursos_genxticos_de_interxs_agroecolxqic_o_en_Andalucxa.pdf

Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y Plátano; Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos; Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo. (1996). Descriptores para el Banano (*Musa* spp). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos 55 p.

https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72800/Descriptores_Banano_326_ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, M. A., Rodríguez, N. A., Fundora, M. Z., Rodríguez, M. A., y Bello, LI. R. (2006). Caracterización de clones da bananos y plátano *Musa* spp. (Musaceas). Instituto de Investigación Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT) y el Instituto de Investigación en Pasto y Forrajes (IIPF). *Revista de Jardín Botánico Nacional-Universidad de la Habana-Cuba*.

https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/72800/Descriptores_Banano_326_ES.pdf?sequence=1&isAllowed=y



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Marcelino, L., González, V., y Ríos, D. (2012). El Cultivo de Plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Panamá. Manual Técnico. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). 48 p.

Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2018). Información General Año 2017-2018 de la Dirección de Agricultura-Unidad de Planificación. 57 p.

Navia, M. (2015). Caracterización morfológica de cultivares recolectados de Banano y Plátano. Proyecto de recuperación de saberes locales y recolección de cultivares de banano y plátano para su caracterización morfológica y multiplicación *in vitro*, PIA ACC UMSS O8. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Forestales - Universitario del Valle del Sacta, Bolivia. 57 p.

Parra, J. O., Cayón, G. D., y Polanía, J. (2009). Descriptores morfológica de materiales de plátano (*Musa* AAB, ABB) y banano (*Musa* AAA) cultivados en San Andrés Isla. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Bogotá y Medellín-Colombia. *Acta Agronómica*, 58(4), 292-298.

Pérez, V. E. (2012). Repuesta de nueves cultivares de musáceas en la etapa vegetativa a cuatro niveles de sombra agroforestal. Centro de Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 83 p.

Santamaría, G. J., y González D., G. (2015). La agroecología en Panamá: su contribución a la sostenibilidad de modos de vida y a la persistencia de la agricultura familiar. *Agroecología*, 10(2), 29-38.

Ticona, A. J., y Condori, Ch. M. (2018). Caracterización agromofológica de seis variedades del género *musa* en la Estación Experimental de Sapecho, Alto Beni-La Paz. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés-Bolivia. *Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica-UMSA*, *apthapi*, 4(2),1063-1072. http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/apt/v4n2/v4n2_a02.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Torres, V. L., Santamaría, G. L., Acosta, A., Mariano, I., Jiménez, B., Caito, V., Santo, U., y Montezuma, V. (2019). Conservación de la biodiversidad vegetal de los agroecosistemas y sistemas naturales de la comarca Ngäbe Buglé-Panamá. Investigación e Innovación de Recurso Genéticos y Biodiversidad. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). p. 13

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los productores de la Comarca Ngäbe-Buglé por brindarnos sus semillas de musáceas, que nos permitió realizar el estudio de caracterización morfológica. Además, al productor colaborado Oberto Baker, que facilitó su finca para realizar el estudio. Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por el financiamiento y apoyo logístico institucional en el marco del Proyecto de Investigación e Innovación en Conservación de la biodiversidad vegetal de los agroecosistemas y sistemas naturales de la CNB.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MICROORGANISMOS ASOCIADOS A LA MUERTE DESCENDENTE DEL MARAÑÓN¹

**Rito Herrera²; José Luis Causadías³; Melvin Jaén⁴; Carmen Bieberach⁵;
Sandra Sopalda⁶; Zanya Aguilar⁷**

RESUMEN

En Panamá, el marañón (*Anacardium occidentale* L.) se desarrolla principalmente en las tierras bajas de la vertiente del Océano Pacífico. Las cifras del Instituto de Estadística (Gobierno de Panamá) señalan la existencia de 963 253 plantas distribuidas en 406 ha comerciales y huertos de traspatio. El objetivo de esta investigación fue la identificación de los principales agentes microbianos asociados a la llamada “muerte descendente del marañón”, entre cuyos síntomas se pueden mencionar: manchas foliares de diferentes formas, colores, tamaño, y sitios de desarrollo en la hoja, presencia o no de halo clorótico alrededor de las manchas foliares, manchas foliares en los espacios intervenales o al lado de las nervaduras, manchado oscuro de la corteza, oscurecimiento, muerte de los haces vasculares en dirección descendente, secamiento de la ramilla en forma descendente, presencia de zonas con corteza oscura (ennegrecidas) y secamiento del racimo floral. Para ello se colectaron muestras de hojas, ramas, flores y segmentos de tallos con síntomas asociados al problema sanitario, seguido de una fase de aislamiento y caracterización morfológica de los microorganismos y pruebas de patogenicidad (postulados de Koch). De acuerdo con los resultados, se aislaron los hongos *Colletotrichum gloesporioides*, *Pestalotia heterocornis* y *Lasidioploidia theobromae*, con una prevalencia del 60%, 30% y 3%, respectivamente; afectando hojas, ramas, flores y frutos e identificados molecularmente mediante los genes ITS (ADN espaciador).

Palabras claves: *Colletotrichum gloesporioides*, hongos, *Lasidioploidia theobromae*, marañón, muerte descendente, *Pestalotia heterocornis*.

¹Recepción: 13 de febrero de 2023. Aceptación: 20 de septiembre de 2023.

²IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria en Recursos Genéticos (CIARG). Ph.D. Microbiología. e-mail: rhhv76@yahoo.es; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2509-0391>

³IDIAP. CIARG. Ing. Agr. e-mail: jcausadias04@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8249-5497>

⁴IDIAP. CIARG. M.Sc. Fruticultura. e-mail: mjaen_31@yahoo.es; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6006-3463>

⁵IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIA-Divisa). M.Sc. Biotecnología. e-mail: cybieberach@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-6607-9332>

⁶IDIAP. CIA-Divisa. M.Sc. Ciencias Agropecuarias. e-mail: sandra.sopalda@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-7712-3369>

⁷IDIAP. CIA-Divisa. M.Sc. Biotecnología. e-mail: zanyaaguilarreyes@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-4458-9833>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MICROORGANISMS ASSOCIATED WITH CASHEW DIEBACK

ABSTRACT

In Panama, the cashew (*Anacardium occidentale* L.) grows mainly in the lowlands of the Pacific Ocean slope. Data from the Statistics Institute (Government of Panama) indicate the existence of 963 253, distributed over 406 commercial hectares and backyards. The objective of this research was to identify the main microbial agents associated with the so-called "cashew dieback", with symptoms like: leaf spots of different shapes, colors, size, and sites of development on the leaf, presence or absence of a chlorotic halo around the leaf spots, leaf spots in the interveinal spaces or next to the veins, dark staining of the bark, darkening, death of the vascular bundles in a downward direction, drying of the twig in a downward direction, presence of areas with dark bark (blackened) and drying of the floral cluster. For this, samples of leaves, branches, flowers and stem segments with symptoms associated with the health problem were collected, followed by a phase of isolation and morphological characterization of the microorganisms and pathogenicity tests (Koch's postulates). According to the results, fungi *Colletotrichum gloesporioides*, *Pestalotia heterocornis* and *Lasidioploidia theobromae*, with a prevalence of 60%, 30% and 3%, respectively; affecting leaves, branches, flowers and fruits and molecularly identifying them through ITS genes (spacer DNA).

Keywords: *Colletotrichum gloesporioides*, fungi, *Lasidioploidia theobromae*, cashew, dieback, *Pestalotia heterocornis*.

INTRODUCCIÓN

En la República de Panamá, el marañón (*Anacardium occidentale* L.) se desarrolla principalmente en las tierras bajas del pacífico. Se suelen utilizar materiales genéticos criollos, sin manejo de copa, sanitario y nutrición, sólo se realiza la cosecha del pseudofruto para elaboración de jugos y dulces y la recolecta del fruto (nuez) para el consumo de su almendra (Ministerio de Desarrollo Agropecuario [MIDA], 2017).

El marañón se creía una especie con muy pocos problemas sanitarios, con excepción de tipos endémicos como la antracnosis en la etapa de floración. Aproximadamente, desde hace unos cuatro años en la vertiente del Pacífico de Panamá, se observa en los árboles de marañón dispersos a orilla de caminos, cercas y en huertos caseros, la presencia de un creciente problema fitosanitario caracterizado por el manchado de las hojas, flores, ramas, en algunos casos debilitando a la planta al limitar su área



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

fotosintética con el manchado del haz, causando necrosis de la lámina y abscisión foliar (MIDA, 2017).

En otros casos, es visible la movilización de la enfermedad en forma descendente hacia ramas y tallo, ocasionando serios daños en el desarrollo vegetativo y productivo, y en ocasiones, causando el colapso de la planta (Pérez Miranda et al., 2005).

Es determinante identificar el o los agentes patogénicos causantes de este problema sanitario de muerte descendente; ya que a nivel de producción ha provocado una reducción anual en la recolección de nueces, con la consecuente falta de materia prima para la industria local dirigida al procesamiento de la nuez. Lo que constituye en una seria amenaza para la sostenibilidad del cultivo a nivel de los sistemas de huerto familiar y de parcela comercial.

En otros países se ha reportado este fenómeno involucrando a diversos agentes causales:

En Cuba se observaron sobre las hojas de *Anacardium occidentale* L., manchas necróticas aisladas marrón claro en el borde de la hoja que posteriormente, formaron lesiones necróticas en diferentes secciones de la superficie foliar, así como lesiones en las inflorescencias, coincidiendo con las reportadas para *Phomopsis anacardii*, siendo la primera descripción de la especie realizada en el país, como agente causal de necrosis en los brotes, hojas y quemaduras de las inflorescencias de *Anacardium occidentale* L. (Pérez Miranda et al., 2005).

En León (Nicaragua) se identificaron y describieron los síntomas de *Pestalotia* sp, y *Cephaleuros* sp, que resultaron ser, los principales agentes causales de daño foliar en marañón (Jiménez y Gómez, 2010).

En Brasil, *Pseudoidium anacardii* ha surgido como una seria amenaza para el cultivo de marañón, atribuyéndole una considerable disminución de la producción (Pinto et al., 2016). *Lasiodiplodia theobromae*, es otro patógeno reportado en Brasil asociado a daños en el marañón, presentando como síntoma una gomosis en la planta (Munis et al., 2012).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Este estudio se desarrolló con el objetivo de identificar los principales agentes patogénicos asociados a problemas sanitarios emergentes en Marañón (*Anacardium occidentale* L.) en fincas de producción comercial, huertos de traspatio y árboles localizados a orillas de carreteras ubicadas en la provincia de Coclé (Panamá).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron muestreos aleatorios en fincas de producción comercial, huertos de traspatio y árboles localizados a orillas de carreteras ubicadas en la provincia de Coclé (Panamá), que presentaron hojas, ramas, flores y segmentos de tallos síntomas asociados al problema sanitario.

Test de patogenicidad: Se utilizó como herramienta los postulados de Koch. Se realizó la inoculación de plantas sanas con cada uno de los aislados obtenidos a partir de lesiones, para inducir la replicación de los síntomas observados en plantas afectadas, dentro de un ambiente semi controlado en casa de vegetación con techo y paredes de malla anti-insectos creando un aislamiento físico parcial.

Los marañones se sembraron en recipientes (potes) de plástico que contenían suelo esterilizado y se colocaron bajo un invernadero con un fotoperiodo promedio de 12 h con riego suplementario cada 2 días. Después de 28 días, las plántulas se inocularon con una suspensión de conidias cuando alcanzaron la etapa de 6-8 hojas. El inóculo se preparó a partir de cultivos de 25 días añadiendo a las placas Petri 10 ml de agua destilada estéril. Los conidios se recolectaron con micropipeta y se contaron en una cámara Neubauer. La concentración de conidios se ajustó a $1,0 \times 10^6$ conidios por ml y se le añadió un ml de una solución de agar y glucosa (1%). La suspensión de conidios (12,5 ml por planta) se aplicó en la superficie inferior de las hojas con un frasco atomizador. Las plantas de control se rociaron con agar y solución de glucosa. Antes y después de la inoculación, las plantas fueron cubiertas con bolsas de plástico para mantener una humedad superior al 90%. Se utilizaron aislamientos (entre 5 y 7) de *C. gloesporioides*, *P. heterocornis* y *L. theobromae*. Se utilizaron cinco plantas por aislamiento.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis estadístico: El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones para cada tratamiento. Los datos recopilados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA 1) de una vía, $P \leq 0,05$ y test de rangos múltiples de Tukey.

Caracterización de morfotipos (Microcultivo)

Se utilizó el método de microcultivo que es el más preciso, ya que permite observar las estructuras *in situ* (Arenas, 1993).

Los hongos que presentaron actividad fitopatológica fueron cortados con una hoja de bisturí de la placa, con medio de agar papa dextrosa (PDA), en cuadrados de agar de 0,5 cm. Con la hoja de bisturí se colocó un cuadrado en el portaobjetos. Luego se sembró el hongo con la espátula en las cuatro esquinas y en el centro del bloque de agar, colocando el cubreobjeto sobre el bloque de agar PDA. Se generó una cámara húmeda dentro del plato Petri con el objetivo de favorecer el crecimiento del hongo y se incubó a 28° C. Después de siete días se desprendió el portaobjetos, se le colocó una gota de azul de lactofenol y se observó al microscopio (40X y 100X) buscando estructuras reproductivas (Casa, 1989; Arenas, 1993).

Para su identificación molecular se amplificaron por PCR convencional los genes ribosomales asociados al espaciador transcrito interno conocido en inglés como internal transcribed spacer (its) y se secuenciaron con el fin de determinar la especie de hongos (Figura 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

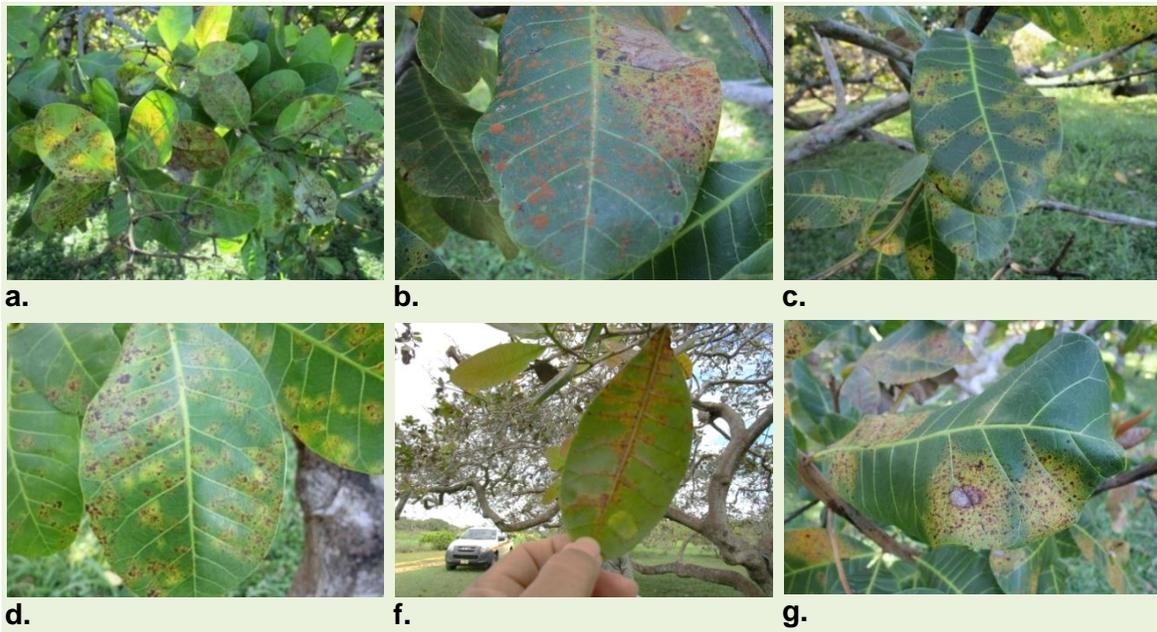
Los aislamientos fúngicos asociados a las lesiones encontradas en las hojas, inflorescencias, ramas y frutos del marañón se asociaron en su mayoría a las especies *C. gloeosporioides* (Figura 2), *P. heterocornis* (Figura 3), *L. theobromae* (Figura 4). La especie *C. gloeosporioides* se aisló de hojas, inflorescencias (Figura 5), nueces y pseudofrutos (Figura 6), mientras que *P. heterocornis* se aisló de ramas y hojas infectadas (clorosis), y *L. theobromae* se encontró en tejido vascular de ramas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 1. Flujograma experimental desarrollado en esta investigación para la caracterización de microorganismos asociados a la muerte descendente del marañón.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 3. Sintomatología en ramas de *Anacardium occidentale* L., provocadas por *Pestalotia heterocornis*: a. manchado oscuro de la corteza, oscurecimiento y muerte de los haces vasculares en dirección descendente y b. desecación de ramilla en forma descendente.



Figura 4. Sintomatología en ramas de *Anacardium occidentale* L., provocadas por *Lasiodioidia theobromae*: a. presencia de zonas con corteza oscura (ennegrecidas), b. haces vasculares de color oscuro debajo de la zona con corteza oscura, y c. secamiento de la rama o tallo y pudrición de la madera.

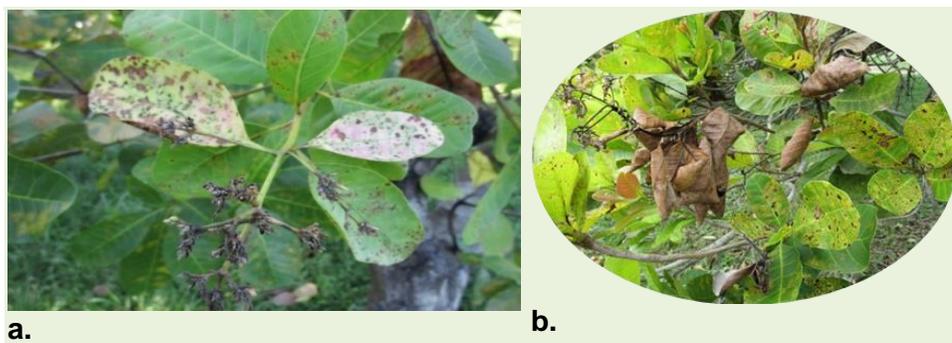


Figura 5. Sintomatología en flores de *Anacardium occidentale* L., provocadas por *Colletotrichum gloeosporioides*: a. cambio de color a oscuro y b. desecamiento del racimo floral.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 6. Sintomatología en fruto de *Anacardium occidentale* L., provocadas por *Colletotrichum gloeosporioides*: a. enrojecimiento de haces vasculares, b. desecación de frutos y c. pseudofrutos tiernos (momificación).

En esta investigación se observó que todas las partes del árbol de marañón son susceptibles al ataque de patógenos. Particularmente, el género *Colletotrichum* es el patógeno con mayor grado de incidencia (60%) y que afecta a muchas partes de la planta. Un aspecto importante para resaltar es que las especies de *Colletotrichum* se consideran uno de los patógenos de plantas más importantes desde el punto de vista económico que afectan a una amplia gama de especies de plantas como el banano, el jengibre, la soja y mango (Photita et al., 2005). Las especies de *Pestalotia* (incidencia 30%) se aislaron fundamentalmente de hojas y ramas, mientras que las especies de *Lasiodiplodia* principalmente se hallaron en ramas (Figura 7). Las lesiones necróticas observadas pseudofrutos y nueces fueron atribuibles a *C. gloeosporioides*; este hongo también se aisló de áreas necróticas de color rojizo en hojas de árboles adultos y plantones de marañón. La desecación de las inflorescencias también se atribuyó a *C. gloeosporioides*. En este sentido, *C. gloeosporioides* y *P. heterocornis* se aislaron principalmente de hojas que presentaban síntomas similares. Sin embargo, las manchas negras necróticas en hojas provocadas por *P. heterocornis* fueron más pequeñas que las causadas por *C. gloeosporioides*. Se logró aislar un complejo formado por *L. theobromae* (incidencia 3%) en asociación con *P. heterocornis* que provocaron lesiones ennegrecidas por fisuras en ramas. Nuestros resultados coinciden con los obtenidos por Freire et al. (2002), y López y Lucas (2010), para la prevalencia de estos géneros fúngicos.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

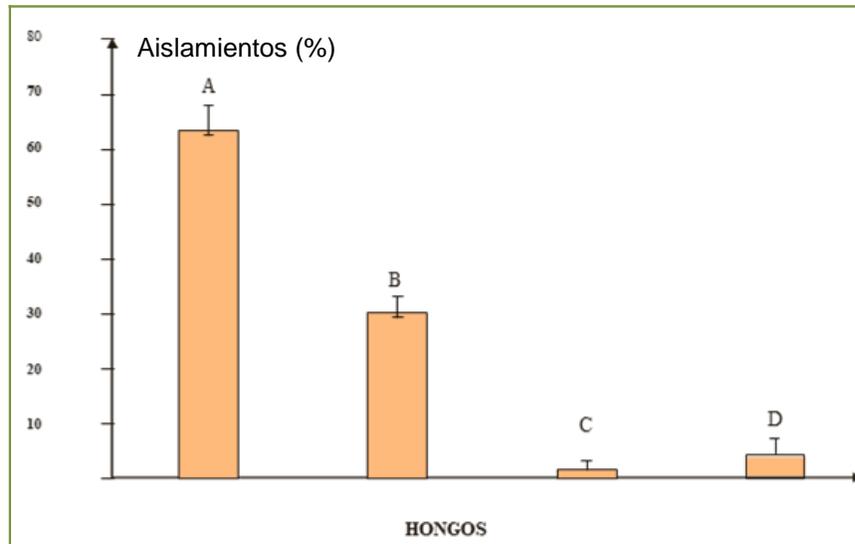


Figura 7. Tasa media porcentual de aislamientos de hongos en árboles de marañón. A) *C. gloesporioides*, B) *P. heterocornis*, y C) *L. theobromae*, D) micelio esterilia (hongos no identificados). Las barras verticales representan el error estándar (SE).

En cuanto los rasgos morfológicos (morfortipos), los cuales incluyen características de los conidios tales como longitud, ancho, forma y tamaño del micelio se observó lo siguiente (medias): para *C. gloesporioides* las conidias fueron cilíndricas presentando un largo de 14 μm ; ancho de 4,69 μm ; tamaño de micelio 76,1 mm. *P. heterocornis* presentó conidias elipsoidales de 16 μm de largo, 6 μm de ancho y un micelio de 82,2 mm. Por otra parte, *L. theobromae*. presentó conidias cilíndricas de 21 μm de largo, 11,5 μm de ancho y un micelio de 84,2 mm (Figura 8).



Figura 8. Características morfológicas de los conidios: a. *Colletotrichum gloesporioides*, b. *Pestalotia heterocornis* y c. *Lasiodiplodia theobromae*.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En relación con los ensayos de patogenicidad, luego de 21 días, los plantones de marañón inoculados con $1,0 \times 10^6$ esporas (conidias) de suspensión de aislamientos fúngicos seleccionados, desarrollaron pequeñas manchas negruzcas en las hojas. Posteriormente, (2-3 meses después), se observó un área amarillenta alrededor de la mancha necrótica negra. Todos los aislamientos fueron patógenos para los plantones de marañón. En la condición control, no se desarrolló ningún síntoma durante este ensayo. El patógeno se volvió a aislar consistentemente de hojas de marañón infectadas en agar papa dextrosa, cumpliendo con los postulados de Koch.

La identificación molecular de los hongos se realizó mediante la extracción de ADN según Chen et al., 2010 con modificaciones menores. Seguidamente se amplificó por reacción en cadena de la polimerasa el gen ITS (espacio transcrito interno de DNA ribosomal), con un tamaño de aproximadamente de 550 a 600 pares de bases (bp). La secuenciación se realizó mediante next generation sequence (NGS) de Illumina®. La naturaleza de multicopia del rDNA permite que la región ITS sea fácil de amplificar con pequeñas cantidades de DNA y obtener un producto cuya variabilidad típicamente refleja sinapomorfías a nivel de especie. Esta región muestra un alto grado de polimorfismo entre especies, pero se cree que está altamente conservada dentro de las especies, por lo tanto, es un valioso marcador genético para la identificación de especies (Karen et al., 1997).

CONCLUSIONES

- Se identificaron como hongos asociados a la muerte descendente del marañón los patógenos *Colletotrichum gloesporioides*, *Pestalotia heterocornis* y *Lasidioploidia theobromae*, con una prevalencia del 60%, 30% y 3%, respectivamente; afectando hojas, ramas, flores y frutos en los árboles de marañón.

REFERENCIAS

- Arenas, R. (1993). *Micología Médica ilustrada*. Segunda edición. McGraw Hill. México D.F. 352 pp.
- Casa, G. (1989). *Micología General*. Edición I. Caracas, Venezuela. 448 pp.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Chen, H., Rangasamy, M., Tan, S., Wang, H., y Siegfried, B. (2010). Evaluation of five methods for total DNA extraction from western corn rootworm beetles. *PLoS ONE*, 5 (8), e11963. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011963>
- Freire, F. C. O., Cardoso, J. E., dos Santos, A. A., y Viana, F. M. P. (2002). Diseases of cashew nut plants (*Anacardium occidentale* L.) in Brazil. *Crop Protect.*, 21(6), 489-494. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(01\)00138-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00138-7)
- Karen, O., Högberg, N., Dahlberg, A., Jonsson, L., y Nylund, J. E. (1997). Inter- and intraspecific variation in the ITS region of rDNA of ectomycorrhizal fungi in *Fennoscandia* as detected by endonuclease analysis. *New Phytol.* 136(2), 313- 325. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.1997.00742.x>
- Jiménez, M., y Gómez, M. (2012). Identificación y descripción de síntomas de los principales patógenos asociados al cultivo de marañón (*Anacardium occidentale* L.) orgánico y convencional, en León, Nicaragua; *Revista Científica La Calera*, 12(18), 01-08. <https://repositorio.una.edu.ni/2378/>
- López, A. y Lucas, J. (2010). Colletotrichum isolates related to anthracnose of cashew trees in Brazil: Morphological and molecular description using LSU rDNA sequences. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 53(4) 741-752. <https://www.scielo.br/j/babt/a/VzCGsL6GYbSJtCvKHnn5dwF/abstract/?lang=en>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2017). Dirección Nacional de Agricultura. Panamá.
- Pérez Miranda, M., Pérez Vicente, L. F., y Pueyo Figueroa, M. (2005). Manchas de las hojas de marañón (*Anacardium occidentale* L.) provocadas por *Phomopsis anacardii* early & punith, *Fitosanidad*, 9(2), 21-24. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209116161003.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Muniz, C., Freire, F., Viana, F., Cardozo, J., Cooke, P., Wood, D., y Guedes, M. (2011). Colonization of cashew plants by *Lasiodiplodia theobromae*: microscopical features. *Microm*, 42(5), 419-428. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2010.12.003>
- Photita, W., Taylor, P., Ford, R., Hyde, K., y Lumyong, S. (2005). Morphological and molecular characterization of *Colletotrichum* species from herbaceous plants in Thailand. *Fungal Diversity*, 18, 117-133. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453ed%20snp55rrgict55\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1664369](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453ed%20snp55rrgict55))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1664369)
- Pinto, O. R. O., Muniz, C. R., Cardoso, J. E., Oliveira, F. S. A., y Lima, J. S. (2016). Morphological analyses of *Pseudoidium anacardii* infecting brazilian cashew plants. *Summa Phytopathologica*, 42(3), 257-260. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2101> https://www.researchgate.net/publication/308169078_Morphological_analyses_of_Pseudoidium_anacardii_infecting_brazilian_cashew_plants



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO DEL BOVINO CRIOLLO GUAYMÍ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO¹

*Esteban Arosemena²; Axel Villalobos-Cortés³;
Marcelino Jaén⁴; Selma Franco-Schafer⁵*

RESUMEN

Durante el periodo 2011-2021 se determinó, bajo diferentes condiciones de manejo, el comportamiento reproductivo del bovino Guaymí en los hatos de conservación de Río Hato y El Coco de Penonomé. La alimentación se basó en el pastoreo con suplementación, la mayor parte del tiempo con sal proteinada, la carga animal varió de 0,8 a 1,6 UA·ha⁻¹. El destete fue natural y la monta continua, con empadre de las novillas a partir de 0,13,15 y 17 meses de edad. El 59% de 44 novillas concibieron antes de los 19 meses de edad con peso promedio de 232 ± 22 kg y alcanzaron edad al primer parto de 25,9 ± 2,2 meses. Con empadre desde el nacimiento hasta los 19 meses de edad el 36, 46, y 18% de los pesos a la primera concepción estuvieron en los rangos de 200 – 210 kg, 220 – 240 kg y 240 – 270 kg, respectivamente. Estando estos pesos correlacionados con la edad a la concepción y el peso a edad adulta. El intervalo entre parto, alcanzado con presencia de toros en los días abiertos entre el parto y la concepción, fue de 12,6 ± 2 meses y el intervalo entre el primero y segundo parto fue de 13,4 ± 3,3 meses. La raza mostró una alta eficiencia reproductiva cuando el empadre de las novillas fue a partir de los 0-15 meses de edad, se suplementó con sal proteinada y la carga animal varió de 0,8 a 1,2 UA·ha⁻¹. Con este manejo el 100% de las novillas, de un total de 12, concibieron con peso promedio de 235 ± 28 kg y alcanzaron una edad al primer parto de 24,5 ± 2,2 meses.

Palabras claves: Edad al primer parto, hatos de conservación, intervalo entre parto.

¹Recepción: 28 de julio de 2022. Aceptación: 01 de noviembre de 2022.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). M.Sc. Producción Animal.
e-mail: earosemena19@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-1293-8301>

³IDIAP, Laboratorio de Análisis y Biología Molecular Aplicada (LABMA), Ph.D. Conservación y Mejora Animal.
e-mail: villalobos.axel@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4223-0560>

⁴IDIAP, Médico Veterinario, M.Sc., e-mail: mjaen06@gmail.com

⁵IDIAP, Médico Veterinario, M.Sc., e-mail: pkfranco91@hotmail.com



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF GUAYMI CREOLE CATTLE UNDER DIFFERENT MANAGEMENT CONDITIONS

ABSTRACT

During the period 2011-2021, the reproductive performance of Guaymí cattle was determined under different management conditions in the conservation herds of Río Hato and El Coco of Penonomé. Feeding was based on grazing, with supplementation most of the time with protein salt, the stocking rate varied between 0.8-1.6 AU·ha⁻¹. Weaning was natural and mating continued, with mating of heifers from 0,13,15 and 17 months of age. 59% of 44 heifers conceived before 19 months of age with an average weight of 232 ± 22 kg and reached an age at first calving of 25.9 ± 2.2 months. With sire from birth to 19 months of age, 36, 48, and 18% of the weights at the first conception were in the ranges of 200-210, 220-240, and 240-270 kg, respectively. Being these weights correlated with the age at conception and the weight at adulthood. The calving Interval, achieved with the presence of bulls on open days between calving and conception, was 12.6 ± 2 months and the Interval between the first and second calving was 13.4 ± 3.3 months. The breed showed high reproductive efficiency when heifers were bred from 0-15 months of age, protein salt was supplemented and the stocking rate varied from 0.8 a 1.2 AU·ha⁻¹. With this management, 100% of the heifers, out of a total of 12, conceived, with an average weight of 235 ± 28 kg and reached an age at first calving of 24.5 ± 2.2 months.

Keywords: Age at first calving, conservation herds, calving interval.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción bovina con mayor rentabilidad son aquellos que se fundamentan en el pastoreo con poco o sin consumo de concentrado, debido al alto costo de los granos y subproductos industriales.

En condiciones de pastoreo, las vacas grandes presentan dificultad en reproducirse, ya que las funciones reproductivas solo serán activadas cuando la demanda de nutrientes para mantenimiento, crecimiento, lactación y reserva haya sido superada. La reducción del peso adulto de la vaca ha resultado en una mejora del comportamiento reproductivo (Johnson et al., 2010).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La eficiencia productiva, con diferentes niveles de consumo de energía, en nueve razas *Bos taurus* fue evaluada por Jenkins y Ferrell (1994); resultando que las de menor potencial de crecimiento y producción de leche mostraron ser más eficientes en el consumo bajo de energía por el mejor comportamiento reproductivo; en cambio las razas con mayor potencial para crecer fueron más eficientes con la ingesta alta de energía, siendo capaces de reproducirse a tiempo y expresar su potencial productivo.

La precocidad también está relacionada con el peso adulto. A mayor peso adulto menor precocidad y viceversa (Bavera et al., 2005). Laster et al. (1972) hallaron una correlación de 0,90 entre la edad y el peso a la pubertad en varias razas y cruza. El peso y edad a la pubertad del Brahman fue mayor a la de las otras razas en estudio (Baker et al., 1989).

Las características que se deben considerar en orden de importancia en la vaca o en un plan de cruzamiento en la raza materna son fertilidad, tamaño pequeño, pubertad temprana, facilidad de parto, producción de leche, longevidad, docilidad (Cartwright, 1970).

La selección por el diámetro escrotal mayor y por la pubertad a una edad más temprana condujo a un mayor peso a la edad de un año, a una edad al primer parto menor y una tasa de preñez posterior al primer parto mayor (Morris et al., 2000).

Los programas de selección, considerando la ingesta de energía han desarrollados para la raza lechera Holstein tres biotipos: el más pesado (650-680 kg) de origen americano; el biotipo intermedio (550-580 kg) de origen europeo y el biotipo liviano (480-500 kg) de origen neozelandés. Para la raza jersey el biotipo pesado (450 kg) de origen americano o canadiense y el liviano de 380-400 kg de origen neozelandés (Ballent et al., 2003).

El cruzamiento del Holstein con Jersey se ha difundido rápidamente; las ventajas que se reportan es el menor tamaño, el aumento de la fertilidad y la mayor producción de sólido lácteo con respecto a lo alcanzado con la raza Holstein (Ballent et al., 2003).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Según estudios realizados en Costa Rica, la edad al primer parto (EPP) y el crecimiento se ven afectadas de manera significativa por la zona ecológica, dado que, en regiones con menor altitud y mayor temperatura ambiental, la calidad de forrajes no es la óptima, además del estrés calórico, que no permite el desarrollo adecuado de animales de raza europea. A pesar de la meta de iniciar la vida reproductiva a los 24 meses, en el trópico bajo (0-500 msnm) y de altura (1500 - 2000 msnm) de Costa Rica se alcanzan EPP de 30 a 26 meses, respectivamente. El valor más bajo lo alcanzó la raza Jersey con 26,5 meses en contraste con los 29,2 meses alcanzado por las otras razas lecheras de mayor tamaño (Vargas y Ulloa, 2008).

En Panamá se registra edades al primer parto (EPP) mayores a los 42 meses que incide negativamente en la eficiencia productiva. Una de las causas es el biotipo cebuino y *Bos taurus* dominantes, con peso de vaca adulta iguales o mayores de 450 kg. Ríos et al. (2013) reporta para la raza Indu Brasil EPP $39,5 \pm 6$ meses con mínimo de 29 meses y máximo de 49 meses de edad. Mercadante et al. (2000) y Mejía et al. (2010) reportan EPP mayores de los 34 meses para las razas Nelore, Brahmán, Cebú comercial, Pardo Suizo y Cruce PS x Cebú.

La raza criolla Guaymí, incluidas en un programa de conservación por el IDIAP desde 1976, está conformada originalmente por individuos procedentes de la comarca Ngabe-Buglé, es un remanente de las razas *Bos taurus* que se cruzaron en Panamá desde hace varios siglos. Se espera que el pequeño porte de la raza (unas de las más pequeña del mundo) y la rusticidad desarrollada le confiera, en condiciones de pastoreo, ventaja con respecto a otras razas de mayor tamaño, para expresar una alta eficiencia reproductiva y productiva bajo condiciones ambientales adversas del trópico ecuatorial.

El objetivo del trabajo fue determinar el comportamiento reproductivo mediante la estimación del intervalo entre parto, peso a la primera concepción y edad al primer parto de la raza bovina Guaymí bajo diferentes condiciones de manejo en dos hatos de conservación ubicados en Los Llanos de Coclé. Además, determinar las correlaciones entre las variables peso a la primera concepción, edad al primer parto, intervalo entre primero y segundo parto, peso a la edad adulta de la madre e hija.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MATERIALES Y MÉTODOS

Los dos hatos se encuentran ubicados en el arco seco, que se caracteriza por tener precipitaciones anuales menores a 1500 mm y periodos secos de 5 meses. Los suelos de los dos sitios son ácidos ($\text{pH} \leq 5,8$), con bajo contenido de materia orgánica ($< 2\%$). La topografía de los núcleos varía de plana a ondulada.

La alimentación se basó en el pastoreo. Las forrajeras dominantes fueron en El Coco *Hyparrhenia rufa*, *Brachiaria humidicola* y *Andropogon gayanus*; en Río Hato *Panicum maximum*, *H. rufa* y una gramínea aromática naturalizada sin identificación. Los animales localizados en El Coco fueron suplementado todo el tiempo con sal proteinada y los de Río Hato con sal mineral al inicio, y posteriormente con sal proteinada. La carga animal tendió a ser mayor con el paso del tiempo. Se relacionó el peso de las terneras y novillas con cinco niveles de carga animal 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 $\text{UA}\cdot\text{ha}^{-1}$. Estimando para los rangos de carga animal 0,8-1,2 y 1,2-1,6 $\text{UA}\cdot\text{ha}^{-1}$ porcentaje, peso y edad de concepción.

Los núcleos de El Coco y Río Hato se formaron de un pie de cría inicial con 11 y 17 hembras, respectivamente, y el sistema de monta utilizado consistió en tres periodos de montas continuas, con duraciones mayores de los dos años, intercalados por dos periodos sin monta de 20 o más meses.

De diciembre de 2011 a julio de 2021 se registraron en los dos núcleos un total de 287 partos, de los cuales 135 fueron hembras. De estas, 74 alcanzaron ser primerizas; de las cuales, 44 tuvieron expuesta a toros en cuatro edades de empadre: 0-19, 13-19, 15-19 y 17-19 meses. Estimando para estos grupos: porcentaje de concepción, peso y edad de concepción y edad al primer parto. Se tomó en cuenta los intervalos entre partos con la presencia de toros en los días abiertos entre el parto y la concepción. En total se registraron 144 intervalos entre partos.

Los animales fueron pesados la mayor parte del tiempo con una periodicidad de 1 a 2 meses. Se ajustó el peso a la concepción o de cualquiera otra edad en función a los pesos registrados antes y después a la fecha estimada. La edad a la concepción fue



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

estimada restando a la EPP 9,2 meses (280 días). Los registros para este análisis se obtuvieron del programa informático de gestión ganadera, VAMMP Bovino 3.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 59% de las 44 novillas que tuvieron la oportunidad de concebir antes de los 19 meses de edad lo hicieron con una edad promedio de 16,78 meses y un peso de 232 kg. El 96% de las novillas que alcanzaron un peso igual o mayor a 200 kg, ante de los 19 meses de edad, se preñaron. En cambio, el 100% de las novillas con peso menor a 200 kg quedaron sin preñar. El peso promedio de las novillas sin concebir antes de terminar el empadre a los 19 meses fue de 185 kg.

Cuadro 1. Porcentaje, peso y edad promedio, mínima y máxima a la concepción de novillas expuesta a toros de 0 a 17 meses hasta los 19 meses de edad.

Total de Novillas expuesta a toros	44
Preñez (%)	59,1
Peso a la concepción (kg)	232 ± 22
Peso mínimo a la concepción (kg)	200
Peso máximo de concepción (kg)	286
Edad a la concepción (meses)	16,8 ± 2,1
Edad mínima a la concepción (meses)	11,2
Edad máxima a la concepción (meses)	19

Al incluirse en el análisis la concepción a una edad igual o mayor a los 20 meses, se observó que para ese grupo el peso mínimo de la primera concepción fue de 195 kg y el 50% concibió con un peso menor de los 200 kg. Al respecto, Costa et al. (2007) encontraron una reducción en el peso a la pubertad y un aumento en la edad a la pubertad cuando la ganancia de peso post destete fueron bajas.

El peso a la concepción no estuvo correlacionado con la edad a la concepción ($R^2=0,0114$; $P>0,05$). Dentro de una raza las variaciones en la edad a la concepción dependerán principalmente del nivel de alimentación que reciban las novillas que permitirá alcanzar temprana o tardíamente el peso a la concepción que usualmente se estima entre 55 y 70% del peso de adulto.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La carga animal fue el factor de manejo que más influyó sobre el peso de las terneras y de las novillas (Figura 1). La carga animal por encima de $1,4 \text{ UA}\cdot\text{ha}^{-1}$ ocasionó que las novillas no alcanzaran el peso a la concepción ($\geq 200 \text{ kg}$) antes de los 19 meses de edad.

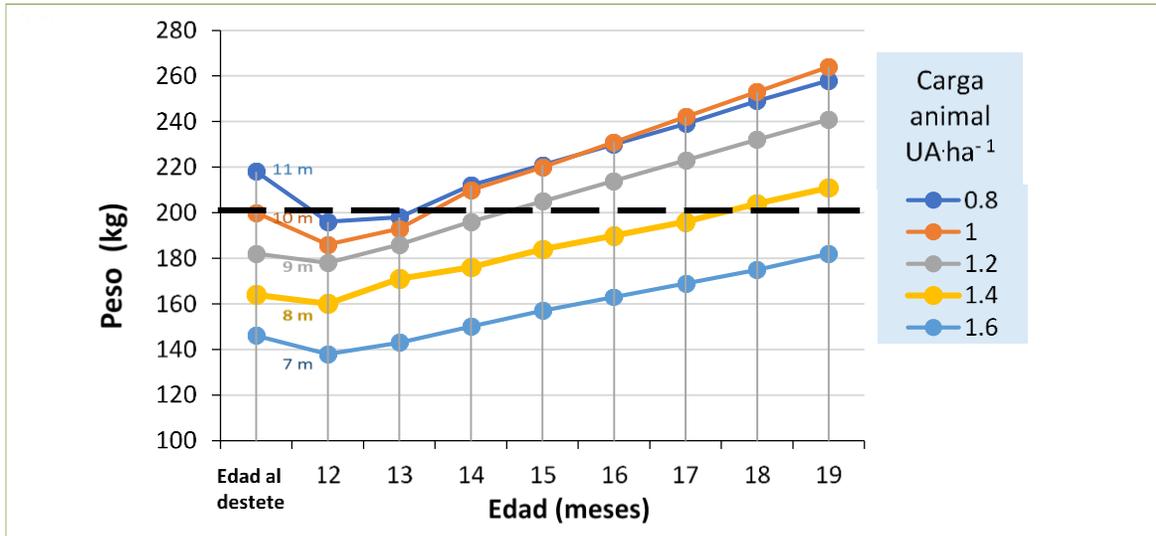


Figura 1. Relación entre peso y edad de la hembra Guaymí, según la carga animal con la que se manejó el hato durante el periodo 2011 a 2021.

El 40% de las terneras lactantes con edades de 11 meses y peso de 200 kg o más concibieron a una edad de 11,2 meses cuando la carga animal fue de $0,8 \text{ UA}\cdot\text{ha}^{-1}$. Por otra parte, fueron muy pocas las novillas entre 12 y 13 meses de edad con el peso para concebir y todas registraban nula o negativas ganancias de pesos, por lo que ninguna de ella concibió en ese lapso de tiempo. En cambio, los mayores porcentajes de concepción se registraron a partir de los 14 meses de edad después de la recuperación de las novillas del estrés post destete (Cuadro 2).

Para la raza criollo argentino, Holgado et al. (2017) reportan porcentajes de preñez de 6,1; 54,5; 81 y 100% en novillas, entre 14,4 y 17,4 meses de edad, que ingresaron al servicio con pesos menores de 200, 200 a 230, 231 a 250 y más de 250 kg, respectivamente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Otro factor que afectó el comportamiento reproductivo fue el periodo y la edad del empadre de las novillas. Por lo general, las novillas mayores de 13 meses tardaron entre 0 y 4 meses en concebir después de alcanzado los 200 kg o iniciado el empadre con un peso mayor a 200 kg (Cuadro 3.). El empadre a partir de los 17 meses de edad por un periodo de dos meses arrojó una edad a la primera concepción de 18,2 meses, 1,7 meses mayor a la media de las otras edades de empadre.

Cuadro 2. Porcentaje, peso y edad de concepción, según la edad de novillas con peso \geq 200 kg.

Edad de la novilla (meses)	Novillas con Peso \geq 200 kg		Preñez (%)	Peso a la concepción (kg)	Edad de concepción (meses)
	N	Se preñaron			
< 12	5	2	40	204 \pm 5,6	11,2 \pm 0,02
12-14	2	0	0	-----	-----
14-17	14	9	64	237 \pm 29	15,8 \pm 0,9
17-18	7	7	100	241 \pm 20	17,5 \pm 0,3
18-19	9	8	88	235 \pm 19	18,5 \pm 0,3
Total	27	26	96	232 \pm 22	16,7 \pm 2,2

N = Número de novillas.

Cuadro 3. Relación entre las diferentes edades de empadre y porcentajes, peso y edad a la concepción de novillas suplementada con sal proteinada con peso igual o mayor a 200 kg.

Edad de empadre (meses)	N	Concepción (%)	Peso a la concepción (kg)	Edad a la concepción (meses)	Inició de empadre a la concepción, a partir de 200 kg (días)
0-19	11	100	227	16,6	47,2
13-19	2	100	222	16,9	96,0
15-19	5	100	251	15,9	32,4
17-19	5	83	227	18,2	17,8

N = Número de novillas que concibieron ante de los 19 meses.

El comportamiento reproductivo de las novillas, bajo las condiciones agroclimática que prevalecieron de 2011 a 2021, fue mayor cuando se manejaron con una carga animal entre 0,8 y 1,2 UA·ha⁻¹, con suplementación de sal proteinada y una edad de empadre a partir de 0 a 15 meses a los 19 meses de edad. Bajo ese manejo se alcanzó una edad al primer parto de 24,5 meses y un porcentaje de concepción de 100% (Cuadro 4).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 4. Relación entre el manejo dado a las novillas con el porcentaje, peso y edad a la concepción.

Manejo	N	Concepción (%)	Peso a la concepción (kg)	Edad a la concepción (meses)
CA 0,8 - 1,2 UA·ha ⁻¹ , empadre a partir de 0 a 15 m y suplementación con sal proteinada	12	100	235 ± 28	15,3 ± 2,2
CA 1,2 - 1,6 UA·ha ⁻¹ , empadre a partir de 0 a 15 m y suplementación con sal proteinada	6	60	228 ± 8	18,2 ± 0,6
CA 0,8 - 1,6 UA·ha ⁻¹ , empadre a partir de 17 m, con suplementación proteica	5	31	227 ± 26	18,2 ± 0,7
CA 0,8 - 1,2 UA·ha ⁻¹ , empadre de 0 a 15 m, sin suplementación proteica	3	50	230 ± 5	17,5 ± 0,6
Total	26	59	232 ± 22	16,8 ± 2,1

CA = Carga animal.

N = Número de novillas que concibieron ante de los 19 meses.

Por otro lado, el peso a la concepción estuvo correlacionado ($R^2 = 0,45$ y $P < 0,05$) con el mejor peso a la edad de 3,5 a 4,5 años (Figura 2). El peso a la concepción fue el $71 \pm 6\%$ del mejor peso a la edad de 3,5 a 4,5 años.

Para la raza Jersey el peso óptimo para el primer servicio a los 15 meses de edad es el 60% del peso vivo de la vaca adulta (entre 3 y 4 años de edad). Para un peso adulto de 350 a 400 kg, la novilla debería pesar entre 210 kg y 240 kg (Ballene et al., 2003).

El mayor porcentaje del peso a la concepción con respecto al peso adulto entre 3,5 y 4,5 años obtenido en el criollo con relación a lo reportado en el Jersey se debió a la menor ganancia de peso del criollo, a partir de los 15 meses de edad.

En el caso del criollo Guaymí, el peso de la madre e hija a la edad adulta entre 3,5 y 4,5 años, estuvieron correlacionados y fueron similares, en la ecuación de regresión estimada (Figura 3). Pudiendo ser un buen predictor del intervalo de pesos de empadre de las novillas o ternera: el $71 \pm 6\%$ del mejor peso adulto de la madre entre 3,5 y 4,5 años de edad.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

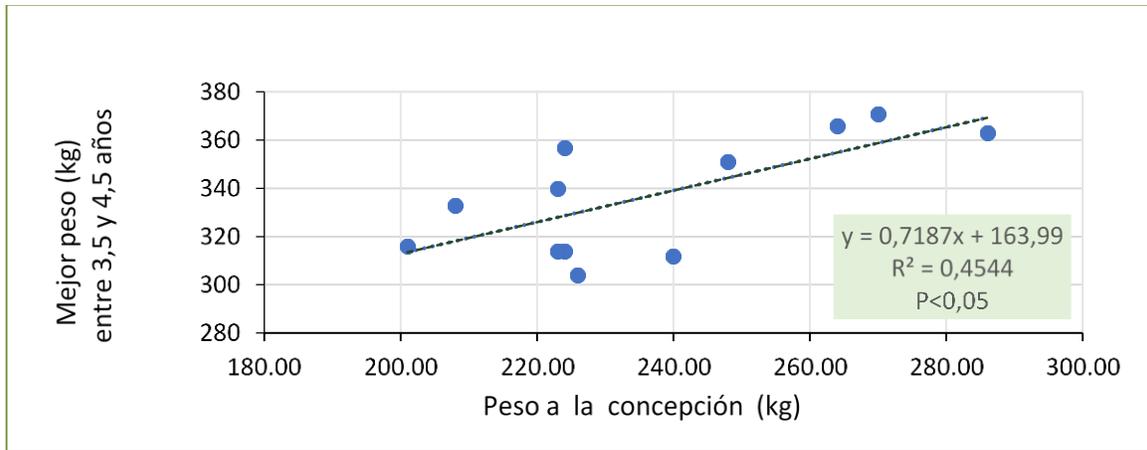


Figura 2. Relación entre peso a la concepción y peso a la edad entre 3,5 y 4,5 años.

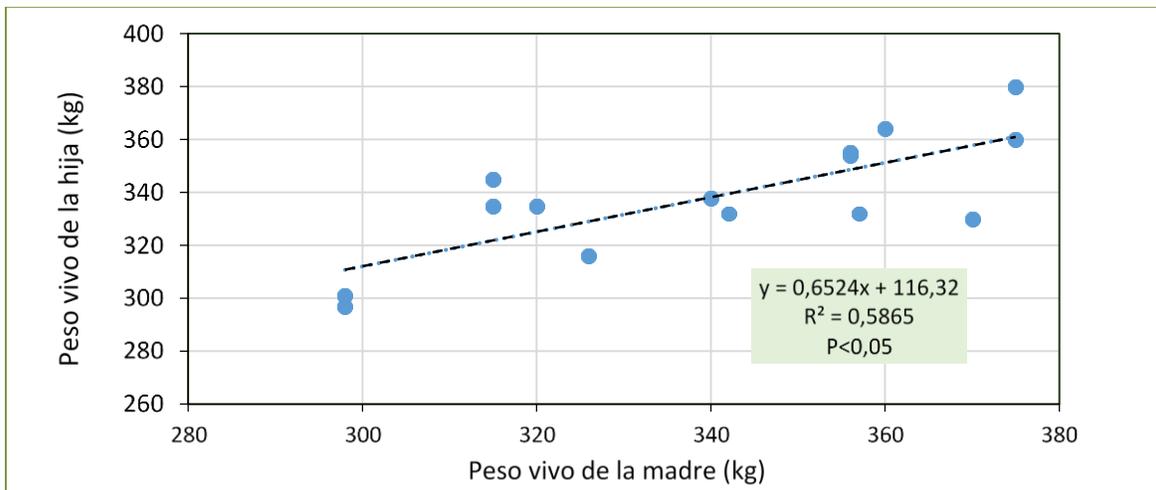


Figura 3. Relación entre pesos de la madre y de las hijas a la edad entre 3,5 y 4,5 años.

Un grupo importantes de novillas crecieron junto con toros a una edad temprana y tuvieron la oportunidad de expresar diferencias en el peso y en la edad a la concepción. Con empadre desde el nacimiento hasta los 19 meses de edad, el 36% de las concepciones se ubicaron en el rango de peso de 200 a 210 kg, el 46% de 220 a 240 kg y el 18% restantes presentaron peso a la concepción mayores de los 240 kg, registrando una correlación directa y significativa entre peso y edad a la concepción (Figura 4a). En cambio, con empadre a partir de 15 a 17 meses de edad se registró una correlación inversa entre peso y edad a la concepción (Figura 4b) presentando una alta proporción de peso a la



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

concepción, mayor a 240 kg (33%), debido a que iniciaron el empadre con un peso similar, careciendo de la oportunidad de expresar un menor peso a la concepción.

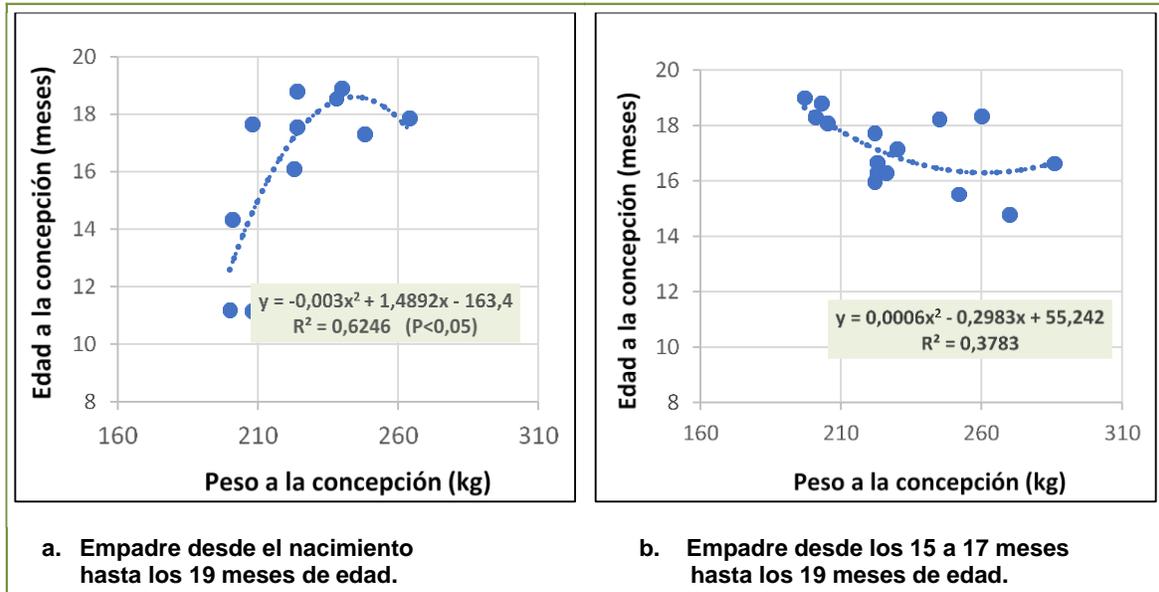


Figura 4. Relación entre la edad y peso a la concepción según la edad de empadre.

El menor peso a edad adulta entre las razas se ha asociado con una menor edad al primer parto. Powell (1985) reportó a partir de más de 6 millones de registros, que el primer parto promedio de Jersey ocurrió de 1,4 a 2,6 meses antes de otras seis razas lecheras.

Las dos edades de concepción promedio 11,2 m alcanzadas por el criollo Guaymí se obtuvieron con peso de concepción promedio de 204 kg. Al respecto, Morris et al. (1997) y Morris et al. (2000) obtuvieron después de 10 años de selección una reducción de 39 días a la pubertad, acompañado de una reducción de 24 kg de peso vivo.

Los criollos Guaymí están acorde con las evidencias que asocian la precocidad con un menor peso y edad a la concepción, menor peso a edad adulta y mayor peso a la edad de 12 meses.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La suplementación con sal proteinada tuvo un efecto positivo al permitir la concepción de las novillas menores de 19 meses de edad en el período seco. En el grupo de Río Hato el 50% vs 0% de las concepciones se dieron en el periodo seco cuando se utilizó sal proteinada en vez de sal mineral permitiendo que se adelantara la EPP en 2,7 meses a pesar de que la carga animal fue mayor cuando se utilizó sal proteinada (Cuadro 5).

En novillas doble propósito con edades comprendida entre 22 y 26 meses de edad, el porcentaje de concepción en el periodo seco fue de 91% cuando se suplementó con sal proteinada y de 14% cuando no se suplementó, permitiendo un adelanto en la EPP de 4,6 meses (Arosemena et al., 2014).

Cuadro 5. Relación entre la carga animal y el tipo de suplementación con el porcentaje de concepción y edad al primer parto en novillas con toros desde los 0 a 15 meses hasta los 19 meses de edad, Hato Guaymí de Río Hato.

Parámetros	Novillas Nacidas 2011-2014	Novillas Nacidas 2014-2018
Número de observaciones	6	12
Concepción	50%	50%
EPP (Media)	26,6 meses	23,9 meses
Suplementación	Sal Mineral	Sal Proteinada
Carga animal (Media)	0,82 UA·ha ⁻¹	1,27 UA·ha ⁻¹

EPP = Edad al primer parto.

Con el resto de los animales la suplementación con sal proteinada en Río Hato, también se relacionó con un mayor porcentaje de gestación en periodo seco 42% vs 22%, pero el mismo no se reflejó con una significativa reducción en los intervalos entre partos (IEP). Al parecer, por estar el efecto de la sal proteinada confundido con el efecto de la carga animal (Cuadro 6).

Los intervalos entre partos (IEP) obtenidos en los dos hatos fueron muy similares y en promedio fue de 385 ± 60 días. El 47% de los IEP fueron en promedio de 11 meses y el 90% de 12,1 meses. Sin embargo, el 10% restante el IEP fue en promedio de 16,6 meses (Cuadro 7).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 6. Relación entre la suplementación y la carga animal con los intervalos entre partos obtenidos en vacas que tuvieron con monta continua, Río Hato y El Coco.

Río Hato – Antón				El Coco - Penonomé			
Carga animal (UA·ha ⁻¹)	Suplementación	N	IEP meses	Carga animal (UA·ha ⁻¹)	Suplementación	N	IEP meses
0,88	Sal mineral	22	12,9	0,82	Sal proteinada	21	12,4
1,22	Sal proteinada	49	12,6	1,2	Sal proteinada	52	12,6
Media		71	12,7	Media		73	12,6

N = Número de observaciones; IEP = Intervalo entre parto.

Cuadro 7. Frecuencia de los intervalos entre partos registrados de 2012 a 2021 en los hatos Guaymí de El Coco y Río Hato, agrupado en rangos de valores.

IEP días	311-340	341-370	371-400	401-430	431-460	>460	Total
N	42	25	28	18	17	14	144
Media	324	356	386	414	445	507	385 ± 60

IEP = Intervalo entre parto; N = Número de observaciones.

Los intervalos entre el primero y el segundo parto fueron en promedios de 13,40 meses no estando correlacionado con la EPP ($P > 0,05$ y $R^2 = 0,1594$). Al pasar de un EPP promedio de 25,8 a 42,5 el intervalo entre el primero y segundo parto se redujo en 1,5 meses resultando a todas luces ventajoso la reducción de la EPP (Cuadro 8).

Cuadro 8. Relación entre la edad al primer parto (EPP) y el intervalo entre el primero y segundo parto.

Edad al Primer Parto (meses)	N	EPP (meses)	Intervalo entre el primero y segundo partos (meses)
			Promedio
20-29	11	25,8	14,1 ± 2,1
30-39	5	35,4	14,6 ± 2,9
40-52	13	42,5	12,6 ± 2,0
Total	29	35,4	13,4 ± 3,3

N = Número de observaciones; EPP = Edad al primer parto.

Igualmente, la edad al primer parto no estuvo correlacionada con el peso a la edad de 3,5 a 4,5 años ($P > 0,05$ y $R^2 = 0,05$) ni con el peso a la edad adulta de 6 a 8 años ($P > 0,05$ y $R^2 = 0,02$). Indicando con ello, que la edad temprana al primer parto tiene un marcado



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

impacto positivo y significativo sobre la eficiencia productiva del hato al no afectar el comportamiento reproductivo y productivo posterior (Cuadro 9).

Es interesante mencionar que el grupo que alcanzó la EPP entre 30 y 39 meses está constituido en gran parte por el grupo que no alcanzó el peso a la concepción antes de los 19 meses de edad, por ser manejado con cargas altas. Como se puede observar este grupo, a nivel de tendencia, tuvo un mayor intervalo entre el primero y segundo parto, un menor peso entre 3,5 y 4,5 años de edad, y un menor peso a la edad adulta.

Cuadro 9. Relación entre la edad al primer parto (EPP) y el mejor peso alcanzado entre 6 y 8 años de edad, y entre 3,5 y 4,5 años de edad.

Edad al Primer Parto (EPP)	N	EPP meses Media	Mejor peso entre 6 y 8 años de edad	N	EPP Meses Media	Mejor peso entre 3,5 y 4,5 años de edad
20-29	15	26,1	378±42	21	25,7	325±22
30-39	5	35,9	333±63	7	35,0	312±49
40-52	7	43,5	367±31	13	44,5	345±31

N = Número de observaciones.

CONCLUSIONES

- La raza Guaymí, con un manejo adecuado basado en el pastoreo, tiene el potencial de alcanzar, en el trópico bajo condiciones ambientales adversas de humedad y temperatura, edad al primer parto de 24 meses e intervalo entre parto de 12 meses.
- El mejor desempeño reproductivo de las novillas (100% de concepción, edad al primer parto de 24,5 ± 2,2 meses y peso a la concepción de 235 ± 28 kg) se alcanzó con un manejo que incluyó: pastoreo con carga animal moderada, suplementación con sal proteinada, destete natural y empadre a partir de una edad igual o menor de 15 meses.
- Con empadre a una edad temprana se registró una asociación directa entre el peso y la edad a la concepción y entre el peso a la concepción y el mejor peso a la edad de 3,5 a 4,5 años.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- La raza presentó una alta precocidad al registrarse un 40% de concepción en terneras lactantes de 11 meses de edad con peso \geq 200 kg. La edad temprana al primer parto no afectó los intervalos entre el primero y segundo parto ni el peso a la edad adulta.

REFERENCIAS

- Arosemena, E., Pinzón, J., y Rodríguez, Y. (2015). Efecto de la suplementación con sal proteinada sobre la edad al primer parto en novillas doble propósito. Congreso En Conmemoración Del 40 Aniversario De Fundación del IDIAP; 26 al 28 de agosto de 2015. Panamá. <http://www.idiap.gob.pa/download/suplementacion-con-sal-proteinada-sobre-la-edad-al-primer-parto-en-novillas-doble-proposito/?wpdmdl=2127>
- Baker, J. F., Long, C. R., Posada, G. A., Mcelhenney, W. H., y Cartwright, T. C. (1989). Comparison of cattle of a five-breed diallel; size, growth, condition and pubertal characters of second generation heifers. *Journal of Animal Science*, 67(5), 1218-1229. <https://doi.org/10.2527/jas1989.6751218x>
- Ballent, M., Landi, H., Bilbao, G., y Dick, A. (2003). Pubertad, peso vivo y desarrollo corporal en diferentes biotipos bovinos productores de leche: una actualización bibliográfica. ITEA, 99A(2), 130-138. https://aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2003/99A-2/99A-2_04.pdf
- Bavera, G., Bocco, O., Beguet, H., y Petryna, A. (2005). Crecimiento, desarrollo y precocidad. Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. <https://www.produccion-animal.com.ar/>
- Cartwright, T. C. (1970). Selection criterio for beef cattle for the future. *Journal of Animal Science*, 30, 706-711.
- Costa, A., Moreira, R., y Scarsi, M. (2007). Efecto del manejo nutricional en el primer invierno sobre la aparición de la pubertad en terneras de raza carnicera tercer año de evaluación, Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 107 p.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23913/1/TTS_Panis_saGermanoGerm%C3%A1n.pdf

Holgado, F., Fernández, J., y Ortega, M. (2017). Efecto del peso de servicio a los 15 meses en la fertilidad de vaquillonas de la raza criollo argentino. *Actas Iberoamericanas en Conservación Animal*, 10, 51-56. https://produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/raza_criolla/101-Trabajo009.pdf

Jenkins, T. G., y Ferrell, C. L. (1994). Productivity through weaning of nine breeds of cattle under varying feed availabilities: I. initial evaluation. *Journal of Animal Science*, 72, 2787. <https://doi.org/10.2527/1994.72112787x>

Johnson, J., Radakovich, J. D., y Dunn, B. (2010). Producing Right Sized Cows. Cow Size and Efficiency: Solving the Puzzle. NCBA Cattlemen's College. [https://www.agrireseau.net/bovinsboucherie/documents/2010%20NCBA%20Cow%20Efficiency%20_Final_\[1\].pdf](https://www.agrireseau.net/bovinsboucherie/documents/2010%20NCBA%20Cow%20Efficiency%20_Final_[1].pdf)

Laster, D. B., Glimp, H. A., y Gregory, K. E. (1972). Age and weight at puberty and conception in different breeds and breed-crosses of beef heifers. *Journal of Animal Science*, 34(6), 1031-1036. <https://doi.org/10.2527/jas1972.3461031x>

Mejía, G. T., Magaña, J. G., Segura, J. C., Delgado, R., y Estrada, R. J. (2010). Comportamiento reproductivo y productivo de vacas *Bos indicus*, *Bos taurus* y sus cruces en un sistema de producción vaca: cría en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(2), 289-301. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913070010>

Mercadante, M. E. Z., Lôbo, R. B., y Oliveira, H. N. (2000). Estimativas de (co)variâncias entre características de reprodução e de crescimento em fêmeas de um rebanho Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(4), 997-1004. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000400008>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Morris, C. A., Wilson, J. A., Bennett, L., Cullen, N., Hickey, S., y Hunter, J. (2000) Genetic parameters for growth, puberty, and beef cow reproductive traits in a puberty selection experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 43(1), 83-91, <https://doi.org/10.1080/00288233.2000.9513411>
- Morris, C. A., y Wilson, J. A. (1997). Progress with selection to change age at puberty and reproductive rate in Angus cattle. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 57, 9-1 1. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19970106209>
- Powell, R. (1985). Trend of age at first calving. *J. Dairy Sci.* 68, 768-772. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(85\)80886-9/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(85)80886-9/pdf)
- Ríos, A., Delio, V., Villagómez, E., y Prisciliano, J. (2013). Heredabilidad de características reproductivas de vacas indubrasil. *Agronomía mesoamericana*, 24(2), 293-300. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v24n2/a06v24n2.pdf>
- Vargas, B., y Ulloa, J. (2008). Relación entre curvas de crecimiento y parámetros reproductivos en grupos raciales lecheros de distintas zonas agroecológicas de Costa Rica. *Livest. Res. Rural Dev.* 20(7), 1–17. <http://www.medvet.una.ac.cr/posgrado/gen/invest/28crecxrep.PDF>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CAMBIOS EN RESPUESTAS FISIOLÓGICAS DE CORDEROS F1 (PELIBUEY X KATAHDIN Y PELIBUEY X DORPER) BAJO ESTRÉS CALÓRICO¹

**Héctor Cedeño²; Yarina Ambulo³; Roberto Saavedra⁴; Enrique Sánchez-Galán⁴;
Fernando Gálvez⁵; Tamara Pimentel⁶; Joseph Grajales-Cedeño⁷**

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el grado de estrés calórico de los corderos F1 Pelibuey x Dorper (PD) y Pelibuey x Katahdin (PK) en condiciones de clima tropical húmedo, específicamente en La Hacienda Nápoles, en San Vicente, provincia de Panamá. Se utilizaron 20 machos, 10 para cada cruce F1. Los animales fueron manejados en sistema estabulado. Las variables climáticas y fisiológicas fueron estudiadas en siete horarios (6:00, 8:00, 10:00 a.m., 12:00, 2:00, 4:00 y 6:00 p.m.) cada siete días por cuatro meses consecutivos de marzo a junio de 2022. De acuerdo con los resultados, el índice de temperatura y humedad (ITH) aumentó ≥ 79 unidades durante el mediodía y la tarde. El cruzamiento F1 no influyó ($P > 0,05$) sobre la frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardiaca (FC), temperatura rectal (TR) y la temperatura superficial (TS). El horario mostró efecto ($P < 0,05$) en las respuestas fisiológicas de ambos cruzamientos F1. Durante el mediodía y tarde los animales presentaron mayor FR con 85,97 (resp/min), FC 97,47 (lat/min) y TR 39,78° C en comparación a los horarios de la mañana. La TS presentó promedio de 36,94° C en corderos PD y 34,97° C en corderos PK. La semana y el mes no mostraron influencias ($P > 0,05$) sobre las variables FR, FC, TR y TS. En conclusión, los corderos F1 PD y PK, independientemente de la semana y mes, son susceptibles al estrés por calor moderado y alto, cuando el ITH es ≥ 79 unidades. Se sugiere medir el ITH en los corrales de engorde de corderos y monitorear la FR, FC, TR y TS para determinar el estrés calórico y mejorar el bienestar de los animales.

Palabras claves: Bienestar animal, clima tropical, cruzamiento F1, temperatura, termorregulación.

¹Recepción: 9 de agosto de 2023. Aceptación: 9 de septiembre de 2023. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

²Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA), Departamento de Zootecnia, Panamá. e-mail: hector.cedenov@up.ac.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8400-4276>

³Universidad de Panamá, FCA, Escuela de Ciencias Pecuarias, Panamá.

e-mail: yarina.ambulo-p@up.ac.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2351-9553>

⁴Universidad de Panamá, FCA, Departamento de Desarrollo Agropecuario, Panamá. e-mail: roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4531-6434>;

e-mail: enrique.sanchezg@up.ac.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9452-8177>

⁵Universidad de Panamá, FCA, Departamento de Fitotecnia, Panamá. e-mail: fernando.galvez@up.ac.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-5138-1753>

⁶Independiente, Panamá. e-mail: tamaraan26@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

⁷Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil. e-mail: joseph.grajales@up.ac.pa; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1021-3945>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CHANGES IN PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF LAMBS F1 (PELIBUEY X KATAHDIN AND PELIBUEY X DORPER) UNDER HEAT STRESS

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the degree of heat stress of F1 Pelibuey x Dorper (PD) and Pelibuey x Katahdin (PK) lambs under humid tropical climate conditions, specifically in La Hacienda Nápoles, San Vicente, Panamá provincial. Twenty males were used, 10 for each F1 cross. The animals were managed under confinement conditions. The climatic and physiological variables were studied at seven times (6:00, 8:00, 10:00 a.m., 12:00, 2:00, 4:00 and 6:00 p.m.) every seven days for four consecutive months from March to June of 2022. According to the results, the temperature and humidity index (ITH) increased ≥ 79 units during noon and afternoon. The F1 cross did not affect ($P>0.05$) respiratory rate (RR), heart rate (HR), rectal temperature TR and surface temperature ST. The time of day showed an effect ($P<0.05$) on the physiological responses in both F1 crosses. During noon and afternoon the animals presented higher RF with 85.97 (resp/min), FC 97.47 (beats/min) and TR 39.78° C compared to morning hours. The TS presented an average of 36.94° C in the PD lambs and 34.97° C in the PK lambs. The week and the month did not show effects ($P>0.05$) on the variables FR, FC, TR and TS. In conclusion, F1 PD and PK lambs, regardless of week and month, are susceptible to moderate and high heat stress when the ITH is ≥ 79 units. It is suggested to measure the ITH in lamb feedlots and monitor FR, FC, TR and TS to determine heat stress and improve animal welfare.

Keywords: Animal welfare, crossbreeding F1, temperature, thermoregulation, tropical climate.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los acontecimientos relacionados con el cambio climático se han convertido en una amenaza para la sostenibilidad de los sistemas de producción animal a nivel mundial (Garzón, 2011). Las zonas tropicales suelen experimentar condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, intensa radiación solar directa o indirecta y elevada humedad del ambiente, lo que ocasiona estrés por calor en los animales. Esta situación conlleva a una reducción en la ingesta de alimentos y un consecuente descenso en el rendimiento productivo de los animales (Asmare et al., 2012; Ribeiro et al., 2018).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Algunas variables utilizadas para cuantificar la gravedad del estrés calórico en animales incluyen indicadores fisiológicos como la frecuencia respiratoria y cardíaca, temperatura rectal y superficial del cuerpo de los animales, entre otras (Silanikove, 2000; Collier et al., 2017). Además, de las variables básicas de morfología y productividad, para obtener criterios más amplios para la selección de los corderos mejor adaptados y más resistentes en ambientes tropicales (Façanha et al., 2013).

En Panamá, uno de los principales problemas que afectan a los productores de ovinos de carne es la poca disponibilidad de reproductores con alto potencial genético (Marquínez-Batista et al., 2022). Entre los ovinos más usados para producción de carne se encuentran principalmente la raza Pelibuey y Black Belly, ambas razas presentan buena adaptación al ambiente tropical del país, sin embargo, su desempeño productivo es limitado (Saldaña-Ríos et al., 2016). Lo antes descrito se puede atribuir al inapropiado manejo reproductivo, por ejemplo, la práctica de apareamientos entre parientes, lo cual ha traído como consecuencia la consanguinidad en las progenies.

Para mejorar la genética de la población ovina, se han importado razas como la Katahdin y Dorper (Saldaña-Ríos et al., 2016). Este criterio técnico se debe a la adaptación de ambas razas en ambiente tropicales, además de su funcionalidad y rendimiento productivo (Gómez-Hernández et al., 2022). Sin embargo, existen pocos estudios, con relación a la adaptación de estas razas y sus cruces ante el estrés calórico en corderos estabulados bajo las condiciones climáticas de Panamá. Por lo que, en el presente estudio, se planteó la hipótesis de que los corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) en la fase de engorde, manejados en un sistema estabulado, manifiestan diferencias en las respuestas fisiológicas. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la adaptación de los corderos F1, mediante el monitoreo de los parámetros ambientales y fisiológicos en condiciones del clima tropical húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio experimental se realizó en una empresa del sector privado, La Hacienda Ilnápoles, en San Vicente, provincia de Panamá. Su ubicación geográfica corresponde a los (9°07'17" latitud Norte y 79°35'26" longitud Oeste).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Manejo de animales

Se utilizaron 20 animales machos con edad entre 85 y 90 días, 10 animales para cada cruzamiento F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin). Los animales fueron identificados de forma individual para el control del experimento, se mantuvieron con las madres hasta el destete (85-90 días), posteriormente fueron trasladados a los corrales de ceba con medidas de 2,80 x 2,25 m, con piso de plástico suspendido a una altura de 1,5 m y con techo de zinc a una altura de 3,0 m, aproximadamente.

El periodo total del estudio fue de cuatro meses, en la cual se consideró un tiempo de adaptación a los corrales de ceba, durante los primeros 15 días y un periodo total de 105 días; se desarrolló a principios del mes de marzo hasta finalizar junio de 2022.

Los corderos de ambos cruzamientos F1, recibieron el mismo manejo, ofreciendo una dieta de concentrado comercial al 18% de proteína cruda y 2,80 Mcal EM/kg MS. También, se brindó heno de Swazi (*Digitaria swazilandensis*), pasto Tanner (*Urochloa arrecta*) y sal mineralizada. Los alimentos se ofrecieron a voluntad hasta completar el periodo experimental de 120 días.

Además, se realizaron medidas profilácticas sobre el corte y limpieza de las pezuñas cada 30 días, y una vez durante la ceba se realizó control de parásitos gastrointestinales con albendazol 10,0% (1,0 ml/50 kg) y aplicaciones de vitaminas (AD₃E, y complejo B: B1, B2, B6 y B12), para garantizar que ambos cruces F1 presentaran buena salud durante el experimento.

Índice de temperatura y humedad

Las variables evaluadas fueron: temperatura ambiental (TA) en (°C), la humedad relativa (HR) en porcentaje (%) y el índice de temperatura y humedad (ITH) unidades. Para medir la TA y la HR, se colocó un termo higrómetro digital (modelo KFC-0789) dentro de los corrales de ceba, a una altura de 2,0 m y se registró una vez a la semana en siete diferentes horarios durante el día (6:00, 8:00, 10:00 a.m., 12:00, 2:00, 4:00 y 6:00 p.m.), durante cuatro meses consecutivo (marzo, abril, mayo y junio de 2022). A partir de los registros de la TA y HR, se calculó el ITH para determinar las condiciones del sistema de



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

producción estabulado donde se encontraban los animales. Se utilizó la ecuación propuesta por Mader et al. (2006).

$$ITH = (0,8 \times TA) + [(HR/100) \times TA - 14,4] + 46,4$$

Para la clasificación de los resultados del ITH, se utilizaron los criterios propuestos por Andrade et al. (2007), que indican dos niveles: (1) ITH menor de 78 unidades: los animales no presentan estrés por calor, (2) ITH mayor de 78 unidades: los animales pueden presentar estrés por calor.

Evaluación fisiológica

Las variables fisiológicas: frecuencia respiratoria, frecuencia cardiaca, temperatura rectal y la temperatura superficial del cuerpo de los animales se midieron una vez a la semana en siete horarios diferentes durante el día (6:00, 8:00, 10:00 a.m., 12:00, 2:00, 4:00 y 6:00 p.m.) por un periodo de cuatro meses consecutivos de marzo a junio de 2022.

La frecuencia respiratoria (FR): se midió por medio de la observación visual del flanco de los animales, contando los movimientos respiratorios durante 20 segundos, multiplicado el valor obtenido por tres para obtener el total de movimientos respiratorio por minutos (Alhidary et al., 2012).

La frecuencia cardiaca (FC): se obtuvo a partir del conteo de latidos cardíacos durante 20 segundos, con el uso de un estetoscopio clínico (Modelo Littmann 2160), posteriormente el resultado se multiplicó por tres para obtener la cantidad total de latidos por minutos (Gomes et al., 2008).

La temperatura rectal (TR): se determinó a través de un termómetro clínico digital (Modelo TS0-A), este termómetro fue introducido entre dos a tres cm en el recto de los animales por un tiempo de aproximadamente 60 segundos (Medeiros et al., 2007).

La temperatura superficial del cuerpo (TS): se obtuvo a través de un termómetro infrarrojo (Modelo FT3010), este equipo se colocó a una distancia entre 10 y 15 cm de la superficie del cuerpo de los animales y se tomaron cinco muestras en diferentes partes del



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

cuerpo: 1) región de la cabeza y cuello, 2) cruz, 3) grupa, 4) miembro anterior y 5) miembro posterior. Esta medición se realizó con el fin de obtener un valor promedio representativo del cuerpo de los animales (Cedeño et al., 2023).

Diseño y análisis estadístico

La variable ambiental índice de temperatura y humedad (ITH) fue analizada a través del diseño Lineal mixto de medidas repetidas con factorial 7x12x4 (7 horarios, 12 semanas y 4 meses), con el siguiente modelo:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + a_{k(i)} + e_{ijk} \quad [1]$$

Donde:

y_{ijk} = es la medición de ITH del i -ésimo mes, del j -ésimo horario y la k -ésima semana, μ = media general, α_i = es el efecto del i -ésimo mes, β_j = es el efecto del j -ésimo horario, $(\alpha\beta)_{ij}$ = es el efecto de la interacción del i -ésimo mes y la k -ésima semana, $a_{k(i)}$ = es el efecto aleatorio de la k -ésima semana dentro del i -ésimo mes y e_{ijk} = es el error aleatorio.

Las variables de frecuencia respiratoria y cardíaca, temperatura rectal y superficial fueron analizadas a través de un modelo lineal mixto con efectos fijos factorial 2 x 7 x 12 x 4 (2 genotipos F1, 7 horarios, 12 semanas y 4 meses,) aleatorio y anidados de semanas en meses y animales en raza. El modelo lineal mixto empleado fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \gamma_k + (\alpha\tau)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\tau\gamma)_{jk} + a_i + b_{l(i)} + c_j + d_{m(j)} + e_{ijklm} \quad [2]$$

Donde:

Y_{ijklm} = representa las variables (FR, FC TR y TS), μ media general, α_i = efecto fijo de la i -ésima raza, τ_j = efecto fijo del j -ésimo mes, γ_k = efecto fijo del k -ésimo horario, $(\alpha\tau)_{ij}$ = Interacción entre la i -ésima raza y el j -ésimo mes, $(\alpha\gamma)_{ik}$ = Interacción entre la i -ésima raza y el k -ésimo horario, $(\tau\gamma)_{jk}$ = efecto fijo de la interacción entre el j -ésimo mes y el k -ésimo horario, a_i = efecto aleatorio del intercepto de la i -ésima raza, $b_{l(i)}$ = efecto aleatorio del l -ésimo animal dentro de la i -ésima raza, c_j = efecto aleatorio del intercepto del j -ésimo mes, $d_{m(j)}$ = efecto aleatorio de la m -ésima semana dentro del j -ésimo mes, e_{ijklm} = error aleatorio.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro y Wilk (1965) para verificar la normalidad de las variables, y la prueba de Levene (1960) para verificar la homocedasticidad en todas las variables en estudio. Los componentes de varianza de los efectos fijos y aleatorios descritos en las ecuaciones [1] y [2] se estimaron mediante el método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) (Patterson y Thompson, 1971) y el vector de soluciones del conjunto de ecuaciones fue resuelto mediante el método de Henderson (1975). Posteriormente, se ejecutó un análisis de varianza (ANOVA) con el ajuste de los grados de libertad del denominador de Kenward y Roger (1997) para los efectos fijos en cada variable de respuesta. Como medida de bondad de ajuste, se tomó el R^2 condicional, que considera la variación de los efectos aleatorios dentro del modelo ajustado.

Para investigar el efecto de posibles asociaciones entre variables fisiológicas y ambientales (ITH), se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Para esto, se consideraron asociaciones significativas cuando el valor de carga fue $\geq 0,50$ o $\leq -0,50$. El número óptimo de componentes principales a ser retenidos se determinó a través del análisis paralelo de Horn (Preacher y MacCallum, 2003). Los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje de programación software R con el entorno de desarrollo integrado RStudio versión 4.1.3 (R Core Team, 2022). En todas las pruebas estadísticas realizadas se consideraron diferencias significativas cuando $P \leq 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables climáticas

Se observaron variaciones significativas ($P < 0,05$) de la temperatura ambiental (TA), y humedad relativa (HR) en las diversas horas evaluadas durante el día y mes del estudio. El índice de temperatura y humedad (ITH) no presentó diferencias ($P = 0,4481$) en los meses. Sin embargo, hubo diferencias ($P = 0,0001$) del ITH en los horarios y en la interacción mes por horario ($P = 0,0001$). Los meses de marzo y mayo presentaron 22,45% mayor TA durante el mediodía y tarde 2:00 p.m. Sin embargo, la HR disminuyó durante el mediodía 38,76% y posteriormente aumentó en la tarde 21,06% (Cuadro 1).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Durante los meses de marzo, abril, y mayo el ITH, generalmente aumentó 0,15; 3,54; 5,13 y 5,50%; para las horas 8:00, 10:00 a.m., 12:00 y 2:00 p.m. respectivamente, mientras que en los horarios de 4:00 a 6:00 p.m., el ITH presentó reducción entre 1,26 y 4,67%, respectivamente. El mes de junio presentó un comportamiento diferente a los anteriores, presentando a las 8:00 a.m. una disminución del ITH al 3,19% en comparación al horario de 6:00 a.m., posteriormente el ITH aumentó 4,06 y 4,75% a las 10:00 a.m. y 12:00 p.m., respectivamente. Sin embargo, el horario de las 2:00 p.m. disminuyó un 2,20% el ITH, mientras que en los siguientes horarios 4:00 y 6:00 p.m. aumentaron 1,96 y 1,31%. El horario de las 12:00 p.m. fue caracterizado con el mayor ITH (Cuadro 1). Esta variación del ITH durante el mes de junio se puede deber al periodo de lluvias, en la cual se establece y llueve frecuentemente en diversas horas del día y posiblemente influyó sobre el ITH.

Los horarios 6:00, 8:00 a.m. y 6:00 p.m. se caracterizaron por presentar menores promedios de ITH con 77,21; 77,31 y 78,80 unidades, respectivamente. De acuerdo con Andrade et al. (2007) el ITH con valor menor de 78 unidades los animales no presentan estrés por calor. Sin embargo, los horarios de 10:00 a.m., 12:00, 2:00 y 4:00 p.m., presentaron promedios generales de 80,04; 81,10; 80,75; 80,51 unidades, respectivamente. El ITH en estos horarios se consideran fuera de la zona de confort térmico para los corderos (Andrade et al., 2007).

Existen límites de ITH definidos para varias especies de animales, según Moran (2005), por ejemplo, los bovinos en ambiente tropical húmedo con ITH menor de 72 unidades los animales no presentan estrés por calor, ITH entre 72 y 78 unidades los animales pueden presentar un estrés por calor moderado, ITH entre 78 y 89 unidades los animales presentan estrés por calor severo, ITH entre 89 y 98 unidades los animales pueden presentar estrés por calor muy severo, y por último, ITH mayor de 98 unidades los animales presentan peligro de muerte por un estrés por calor muy severo. Sin embargo, en estudios con ovinos en condiciones de ambiente tropical, los valores de ITH menor de 78 unidades los animales no presentan estrés por calor, y cuando son superiores a 78 unidades se consideran fuera de la zona de confort térmico para los animales (Andrade et al., 2007).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El ITH promedio observado durante el estudio, independientemente del horario se considera elevado mayor de 76 unidades, ya que se considera ideal menor de 72 para los animales rumiantes (Moran, 2005; Pérez et al., 2020). Otros estudios indican que el ITH de 70,8 unidades fue favorable para un adecuado desarrollo productivo y reproductivo de las ovejas de raza Pelibuey (Macías-Cruz et al., 2015).

De acuerdo con este estudio la caracterización del microclima en los sistemas de producción se torna fundamental para corregir o adecuar las infraestructuras donde se encuentran los animales, ya que considerando el ITH, independientemente del mes y la semana, los horarios entre 10:00 a.m. y 4:00 p.m. presentaron ITH mayor de ≥ 79 unidades, lo cual indicó una condición no favorable para los animales. Resultados similares fueron observados por Neiva et al. (2004), donde la temperatura ambiental fue mayor a la hora del mediodía, y la misma fue considerada con ITH fuera de la zona de confort térmico para los animales. Las condiciones de microclima con $ITH \geq 80$ los animales pueden comprometer la producción de carne y leche, disminuyendo su rendimiento de ganancia diaria de peso; esto debido a la reducción de ingesta de alimentos en los animales estresados por el calor (Yousef, 1985; Silanikove, 1992).

El entorno ambiental y las infraestructuras de corrales de estabulación, donde se encuentran los animales son fundamentales para proporcionar un buen confort térmico, para garantizar bienestar a los animales. Las infraestructuras de techado con diseño de sobre techo en los corrales de los sistemas estabulados sirve como una estrategia de minimizar el efecto de la temperatura ambiental, obteniendo mejor confort y bienestar en los animales (Oliveira et al., 2005).

También, el efecto de sombra de árbol cerca del perímetro de los corrales disminuye la temperatura ambiental y, por consiguiente, baja las unidades de ITH, favoreciendo el confort y desempeño de los animales en condiciones de ambiente tropical (Santos et al., 2006; Silva et al., 2008).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Estadística descriptiva de la temperatura ambiental (TA), humedad relativa (HR) y el índice de temperatura y humedad (ITH) del experimento.

Mes	Horario	TA (° C)			HR (%)			ITH (unidades)
		Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media ± D.E.
Marzo	6:00 a.m.	26,05	26,90	25,10	80,00	81,00	79,00	76,04 ± 1,29 ^m
	8:00 a.m.	26,55	27,00	26,20	73,50	75,00	72,00	77,54 ± 0,69 ^{ijkl}
	10:00 a.m.	28,90	29,40	28,40	67,00	72,00	62,00	79,27 ± 0,01 ^{ghi}
	12:00 p.m.	31,90	32,20	31,60	55,00	60,00	50,00	81,65 ± 0,48 ^{bcd}
	2:00 p.m.	32,70	32,70	32,70	50,00	53,00	47,00	81,84 ± 0,55 ^{abc}
	4:00 p.m.	31,45	31,50	31,40	53,50	55,00	52,00	80,76 ± 0,20 ^{cdef}
	6:00 p.m.	28,55	28,60	28,50	63,00	65,00	61,00	78,25 ± 0,22 ^{ijk}
Abril	6:00 a.m.	26,45	26,90	26,00	82,50	81,00	63,00	77,85 ± 2,16 ^{ijkl}
	8:00 a.m.	27,48	28,60	24,50	72,50	84,00	81,00	77,59 ± 0,61 ^{ijkl}
	10:00 a.m.	29,08	30,30	27,30	69,75	80,00	65,00	79,90 ± 0,94 ^{fg}
	12:00 a.m.	30,60	33,20	27,80	61,50	73,00	49,00	80,71 ± 1,90 ^{cdef}
	2:00 p.m.	30,40	32,70	26,80	60,50	75,00	55,00	80,29 ± 2,23 ^{efg}
	4:00 p.m.	28,85	31,00	24,00	66,50	85,00	58,00	78,87 ± 3,05 ^{hi}
	6:00 p.m.	27,18	28,80	23,90	72,50	87,00	66,00	77,32 ± 2,11 ^{kl}
Mayo	6:00 a.m.	26,08	28,20	26,40	73,75	76,00	72,00	78,29 ± 1,02 ^{ij}
	8:00 a.m.	27,58	27,30	25,20	85,25	88,00	82,00	77,41 ± 1,20 ^{ijkl}
	10:00 a.m.	29,68	30,70	28,50	88,50	78,00	68,00	81,21 ± 0,69 ^{cde}
	12:00 p.m.	31,73	33,90	29,40	76,50	62,00	52,00	81,73 ± 1,90 ^{bc}
	2:00 p.m.	32,00	32,90	31,60	61,00	64,00	56,00	82,81 ± 0,35 ^a
	4:00 p.m.	31,68	32,30	30,60	60,75	72,00	51,00	82,27 ± 0,57 ^{ab}
	6:00 p.m.	27,53	28,60	26,50	76,25	84,00	72,00	78,44 ± 0,90 ^{ij}
Junio	6:00 a.m.	25,45	28,10	28,00	71,75	76,00	74,00	79,14 ± 0,22 ^{ghi}
	8:00 a.m.	28,05	26,00	24,90	75,00	89,00	88,00	76,69 ± 0,89 ^{lm}
	10:00 a.m.	28,25	29,00	27,50	77,00	79,00	75,00	79,80 ± 0,92 ^{fgh}
	12:00 p.m.	29,10	32,00	26,50	72,50	83,00	62,00	80,33 ± 2,91 ^{defg}
	2:00 p.m.	29,50	29,20	26,50	74,50	80,00	69,00	78,60 ± 1,36 ^{hij}
	4:00 p.m.	27,85	30,00	29,00	75,50	69,00	65,00	80,14 ± 0,44 ^{efg}
	6:00 p.m.	28,65	30,90	30,40	76,00	67,00	59,00	81,19 ± 0,31 ^{cde}

D.E.: desviación estándar. Letras minúsculas distintas presentan diferencias significativas (P<0,05). Letras minúsculas iguales no difieren entre horarios y meses (P>0,05).

Respuestas fisiológicas

Frecuencia respiratoria (FR = resp/min)

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas (P=0,5913) en la FR de los corderos F1 PD y PK. La hora del día influyó significativamente (P=<0,0001) en la FR



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de ambos cruces F1. El día y mes no mostraron diferencias significativas ($P=0,5021$) en la FR de ambos corderos F1. Hubo interacción significativa de la FR ($P=<0,0001$) entre mes y horario del día. No hubo interacción entre los corderos F1 y mes ($P=0,1392$), y cruce F1 y horario ($P=0,9721$).

Ambos cruzamientos F1 presentaron a las 6:00 a.m. una FR mínima de 40,0 con un promedio general de 62,98 resp/min, lo cual indicó que los animales se encontraban en un buen confort térmico. Sin embargo, el promedio general de ambos animales en estudio aumentó aproximadamente el 15,70; 27,90; 37,77 y 35,29 para las 8:00; 10:00, 12:00 y 2:00 p.m. respectivamente, mientras que se observó una reducción de la FR en los horarios de 4:00 y 6:00 p.m. con 4,08 y 16.73% (Figura 1a).

La frecuencia respiratoria entre 40 y 60 resp/min los animales presentan bajo estrés, entre 60 y 80 resp/min estrés medio-alto, entre 80 y 120 resp/min calor alto y más de 200 resp/min estrés por calor severo (Silanikove, 2000). Por tanto, los corderos F1 (PD) y (PK) presentaron estrés moderado entre los horarios de 8:00 a 10:00 a.m. Sin embargo, a las 12:00, 2:00 y 4:00 mostraron signos de un alto estrés y durante el último horario 6:00 p.m. presentaron un estrés moderado. Estos resultados se deben posiblemente a una tensión calórica, debido al incremento del ITH.

Sin embargo, ambos cruces F1 disminuyeron la FR en los últimos dos horarios de la tarde, lo cual indicó una estabilización, debido posiblemente a la eficiencia de termorregulación de ambos corderos F1 y a la disminución del ITH, favoreciendo el confort térmico de los animales.

La tendencia de aumento de la FR en ambos cruces F1 coincide con recientes estudios donde se indica que los animales expuestos en ambientes con alto ITH, los animales aumentan la frecuencia respiratoria (Gomes et al., 2008) Por tanto, es importante destacar que el aumento del ritmo de respiración es uno de los mecanismos fisiológicos de termorregulación más importante para eliminar el exceso de calor por los animales rumiantes (Santos et al., 2004).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

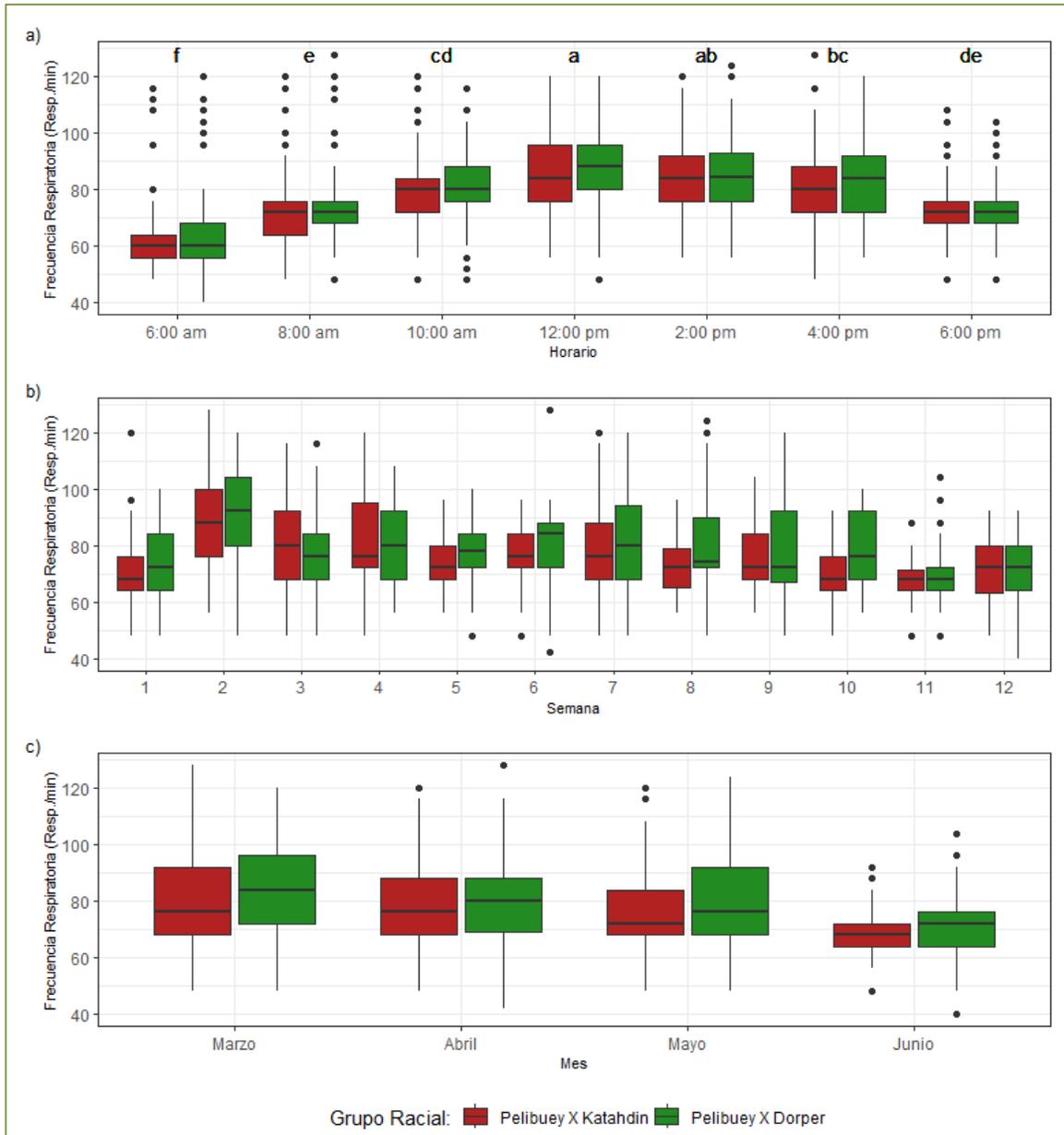


Figura 1. Frecuencia respiratoria de corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) de acuerdo con el horario del día (a), semana (b) y mes (c) en sistema estabulado bajo condiciones de clima tropical húmedo. Letras minúsculas distintas indican diferencias entre horarios ($P < 0,05$).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Frecuencia cardiaca (FC = lat/min)

El análisis de varianza no indicó diferencias significativas ($P=0,43595$) en la FC de los corderos PD y PK. La hora del día influyó significativamente ($P=<0,0001$) en la frecuencia cardiaca de ambos cruces F1. El día y mes no mostraron diferencias significativas ($P=0,38281$) en la FC de los corderos F1. Hubo interacción significativa de la FC ($P=<0,0001$) entre mes y horario del día. No hubo interacción entre los corderos F1 y mes ($P=0,15212$), y cruce F1 y horario ($P=0,06101$).

Ambos cruzamientos F1 presentaron a las 6:00 a.m, una FC mínima de 60,0 con un promedio general de 93,63 lat/min, lo cual indicó que los animales se encontraban en un buen confort térmico. Sin embargo, el promedio general de ambos corderos F1 en estudio aumentó aproximadamente el 4,21; 5,09; 5,88; 2,92 y 2,40% para las 8:00; 10:00 a.m., 12:00, 2:00 y 4:00 p.m. respectivamente, mientras que se observó una reducción de la FC en el horario de la tarde 6:00 p.m. con 8,23%, lo cual indicó un estado transitorio de la termorregulación (Figura 2a).

La frecuencia cardiaca (FC) de ambos corderos F1, fueron afectada a partir desde las 8:00 a.m. hasta las 4:00 p.m., el resultado observado se torna preocupante para el sistema de producción animal, ya que se considera que ambos animales fueron susceptibles al ITH, observado para cada horario.

El comportamiento de la FC de ambos cruzamientos F1, coincide con recientes estudios que indican que los ovinos y caprinos expuestos en ambientes con ITH mayor de 75 unidades, los animales aumentan los latidos cardíacos, mostrando un estrés por calor (Cezar et al., 2004; Cedeño et al., 2023). Esto podría asociarse a mecanismos fisiológicos de adaptación de ambos grupos de animales F1 a las condiciones climáticas y manejo presentadas en el estudio.

Es importante medir los latidos cardíacos de los animales, ya que se considera un parámetro fundamental en los estudios de adaptación, para conocer si los animales se encuentran estresados por las condiciones ambientales (Santos et al., 2004; Al-Haidary et al., 2012).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

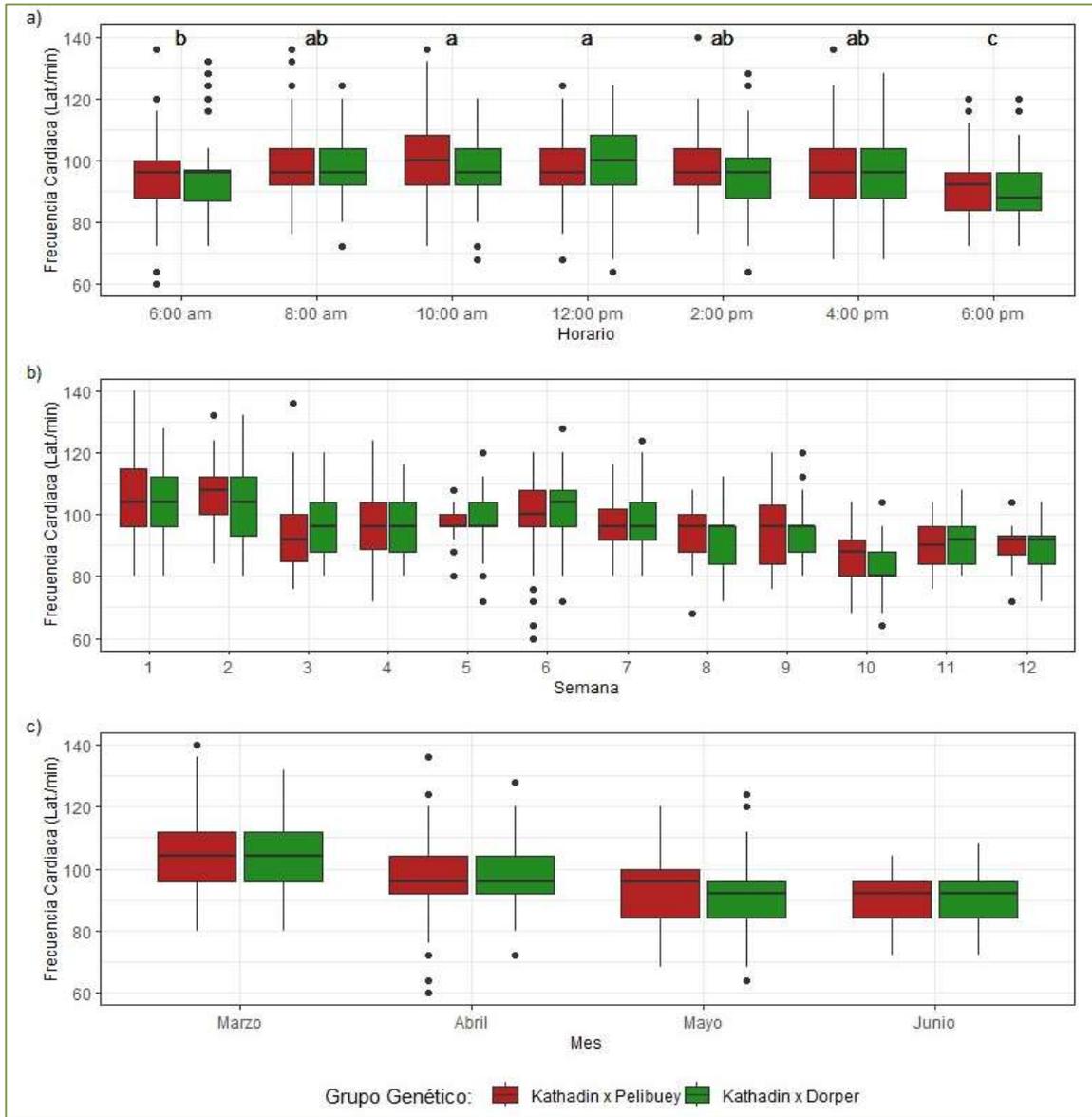


Figura 2. La frecuencia cardiaca de corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) de acuerdo con el horario del día (a), semana (b) y mes (c) en sistema estabulado bajo condiciones de clima tropical húmedo. Letras minúsculas distintas indican diferencias entre horarios ($P < 0.05$).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Temperatura rectal (TR = ° C)

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas ($P=0,43595$) de la TR entre los cruzamientos F1 PD y PK. La semana y mes no influyeron sobre la TR ($P=0,38281$), sin embargo, el horario indicó diferencias de la TR ($P=0,0001$). Hubo interacción significativa de la TR entre los horarios y el mes ($P=0,04584$). Se encontró diferencias significativas en la interacción de los cruzamientos y el mes del año ($P=0,0004$). No se observó interacción ($P=0,19605$) de los cruzamientos entre los horarios.

La TR de ambos cruzamientos F1 fue menor a las 6:00 a.m., con valor mínimo de $38,00 \pm 0,39$ y promedio general de $39,49^\circ \text{C}$, lo cual indicó que los animales se encontraban en un buen confort térmico. Posteriormente, el promedio general de ambos corderos F1 fueron aumentando aproximadamente el 0,38; 0,61; 0,73; 0,75 y 0,70% para las 8:00; 10:00 a.m., 12:00, 2:00 y 4:00 p.m. respectivamente, mientras que en el horario de 6:00 p.m. se observó una reducción de la TR con 0,33% (Figura 3a). La tendencia observada de la TR en ambos corderos F1, mostraron aumentos posiblemente al mayor índice de temperatura y humedad (ITH), manifestando un periodo estresante para los animales en los horarios entre 10:00 a.m. y 4:00 p.m. Este período indicó que los animales fueron susceptibles al estrés por calor en la categoría moderado y variando hasta un estrés alto cuando el ITH fue más alto.

Una variable confiable para estimar la tolerancia al calor de los animales rumiantes ante un entorno ambiental tropical e inhóspito es la TR (Bianca y Kunz, 1978). De acuerdo con McDowell et al. (1976) la elevación de $1,0^\circ \text{C}$ en la temperatura rectal, es suficiente para disminuir el desempeño productivo en la mayoría de los animales domésticos. Los ovinos presentan una temperatura rectal de aproximadamente de $39,1^\circ \text{C}$ en situación sin estrés por calor (Swenson, 1988). Los animales en estudio mantuvieron promedios de TR entre $39,49^\circ$ y $39,78^\circ \text{C}$, esta diferencia observada puede ser atribuida por el índice de temperatura y humedad ITH en ambiente tropical húmedo, el cual se caracteriza por presentar alta temperatura ambiental y humedad relativa del aire. Este resultado posiblemente se debe al grado de estrés por calor moderado observado en los corderos F1 PD y PK. Además, este resultado denota un grado de eficiencia importante en los mecanismos de termorregulación de los corderos, donde fueron capaces de disipar el calor interno del cuerpo regulando la TR bajo las condiciones del estudio.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Otros estudios han encontrado alteración de esta variable TR, por ejemplo, con elevación > 40° C cuando los animales se encontraban en situaciones de estrés por calor clasificado como alto y severo (Silanikove, 2002).

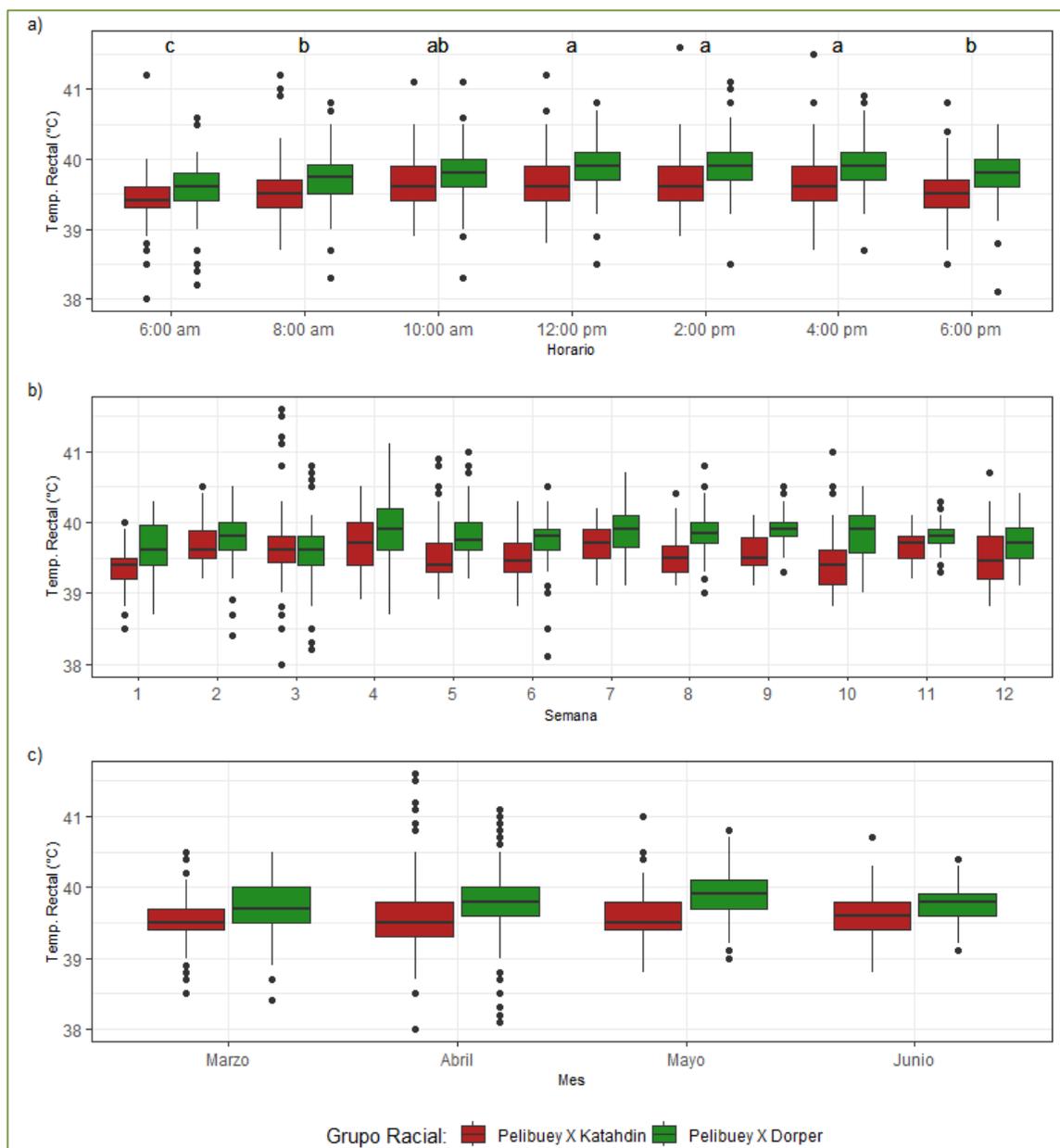


Figura 3. La temperatura rectal de corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) de acuerdo con el horario del día (a), semana (b) y mes (c) en sistema estabulado bajo condiciones de clima tropical húmedo. Letras minúsculas distintas indican diferencias entre horarios (P<0,05).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Temperatura superficial del cuerpo (TS = ° C)

Los cruzamientos F1 no difirieron ($P=0,4949$) en la TS. El mes, horario y la interacción mes y horario influyeron significativamente ($P=<0,0001$) la TS de ambos corderos F1. La interacción entre el cruzamiento F1 y mes no mostró diferencias ($P=0,3219$) y la interacción cruzamiento F1 y horario no presentó diferencias ($P=0,4120$).

Ambos corderos F1, a las 6:00 a.m., presentaron un menor promedio general de TS de $33,62 \pm 0,98^\circ \text{C}$, lo cual indicó que los animales se encontraban en un buen confort térmico. Sin embargo, el promedio general de ambos animales fue aumentando aproximadamente el 3,27; 6,96; 7,14; 6,97 y 7,02% para las 8:00; 10:00 a.m., 12:00, 2:00 y 4:00 p.m. respectivamente, mientras que a las 6:00 p.m. se observó una reducción de 2,65% (Figura 4a).

La TS obtenida de los animales es el resultado del equilibrio entre la energía térmica producida y la energía térmica disipada al ambiente (Pinto-Santini et al., 2014). Los resultados del estudio coinciden con lo reportado por Veríssimo et al., (2009) quienes informaron que el color del pelaje no interfiere en la tolerancia al calor de animales de color del pelaje oscura y clara. Los corderos F1 (PK) en este estudio, generalmente presentaron color variado debido al efecto del cruzamiento, sin embargo, predominan el color blanco y marrón (claro a oscuro) debido a las razas Katahdin y Pelibuey, respectivamente. Mientras, que los animales F1 (PD), presentaron coloración variada, donde predominan el marrón claro a oscuro perteneciente al genotipo Pelibuey; y el color blanco en el cuerpo con manchas negras en el cuerpo, cuello y cabeza por la raza paterna Dorper.

Los animales con pelaje de colores oscuros como el negro o chocolate absorben más calor en comparación a razas de animales que presentan colores claros o blancos (Días et al., 2007). La discrepancia entre los resultados observados se debe posiblemente a la variación genética de ambos cruzamientos F1, al manejo del sistema de producción utilizado, ya que en este estudio los animales F1, se encontraban en estabulación con techo, es decir los animales no recibieron la radiación solar directa como suele ocurrir en animales en sistema de pastoreo. Por tanto, el color del pelaje puede ser un parámetro importante para la selección de animales con rasgos fenotípicos ideales para el desarrollo de los sistemas de producción animal bajo condiciones de climas tropicales.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los animales con pelaje oscuro generalmente son más susceptibles al estrés térmico por calor (Silva et al., 2001), porque absorben mayor carga térmica radiante, en comparación a los animales de colores claros. Para que esta reflexión sea efectiva, se requiere que el pelaje presente pelos cortos y bien distribuidos en el cuerpo de los animales (Veríssimo et al., 2009).

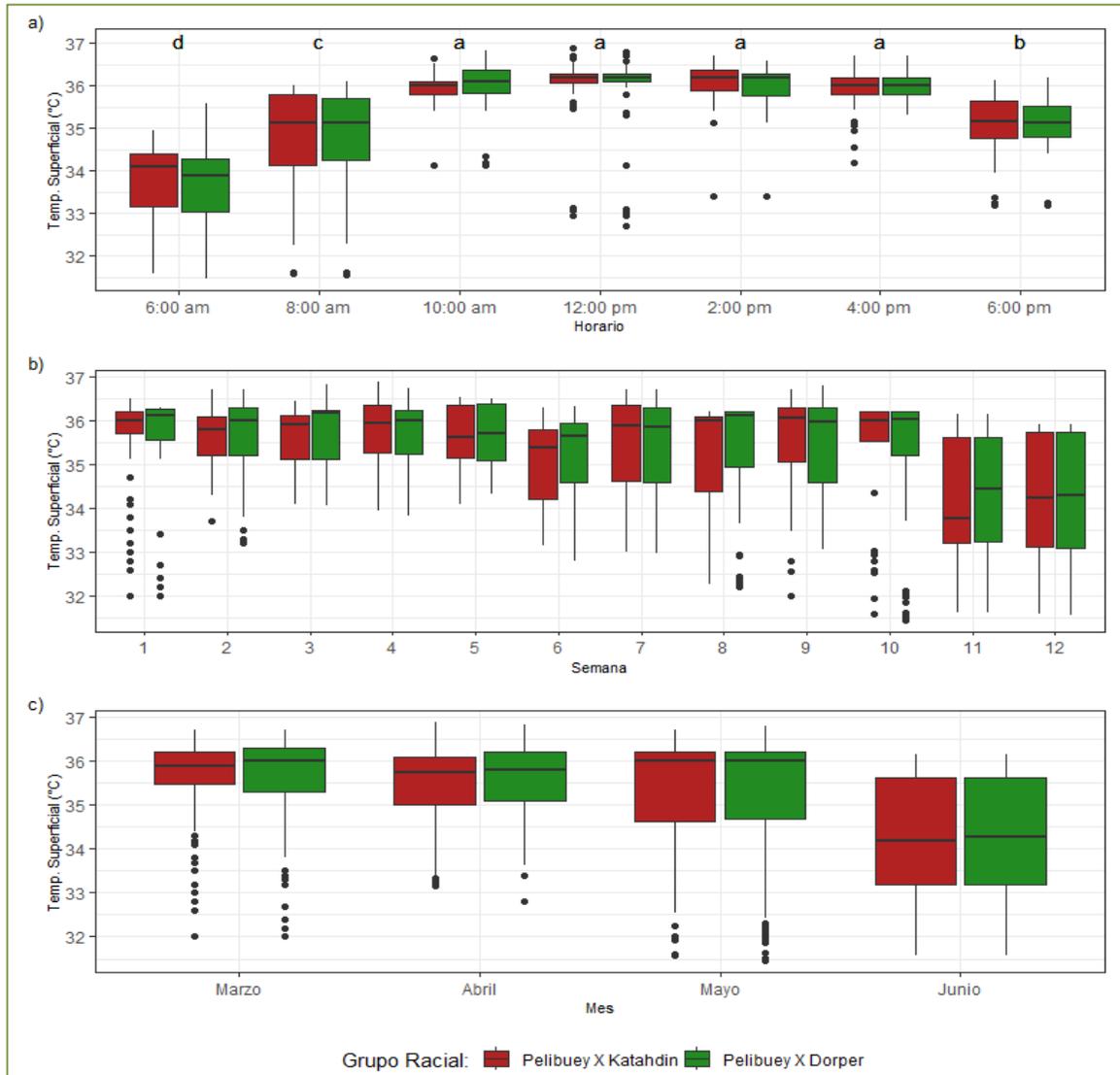


Figura 4. La temperatura superficial del cuerpo de corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) de acuerdo con el horario del día (a), semana (b) y mes (c) en sistema estabulado bajo condiciones de clima tropical húmedo. Letras minúsculas distintas indican diferencias entre horarios ($P < 0,05$).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis de componentes principales (PC)

Los componentes principales explicaron 64,47% de la varianza de los datos. El PC 1 explicó 42,14% de la varianza de los datos y caracterizó las variables FR y TS con el ITH, mientras que el PC 2 explicó 22,33% de la varianza de los datos, y fue caracterizado por la FC (Cuadro 2).

El análisis de componentes principales mostró una agrupación similar entre ambos corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y (Pelibuey x Katahdin), lo cual indicó un comportamiento fisiológico de termorregulación similar en respuesta a las mismas condiciones ambientales (Figura 5). En relación con las variables de índole climática y fisiológica, cuanto más cerca se encuentran, la relación es mayor; lo cual puede ser explicado por la influencia observada del ITH sobre las FR, FC, TR y TS de ambos corderos F1, en situación de estrés calórico con grado moderado-alto.

El ITH, es un indicador climático fundamental que se debe medir en todos los sistemas de producción animal, ya que permite conocer el impacto de la temperatura ambiental y la humedad relativa en la adaptación o la tolerancia al calor de los animales en un determinado ambiente térmico (Mandal et al., 2021).

Los análisis multivariados permiten asociar los comportamientos fisiológicos y rasgos morfológicos entre los animales de distintas razas para comparar el grado de adaptabilidad (Castanheira et al., 2010). Otros investigadores han utilizado los análisis multivariados para estudiar las posibles diferencias comportamentales y rasgos morfológicos entre diversas razas de animales rumiantes (Dossa et al., 2007; Traoré et al., 2008).

En este estudio la mayor frecuencia respiratoria y cardiaca, así como las temperaturas rectal y superficial del cuerpo de ambos corderos F1 coincidieron con la mayor tensión calórica de acuerdo con el índice de temperatura y humedad (ITH) en los horarios caracterizados como los más críticos durante el día entre 10:00 a.m. y 4:00 p.m. Los animales en este periodo diurno crítico mostraron signos de agotamiento, jadeo y una ligera salivación, lo cual indicó una clara condición de estrés por calor.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Valores de carga, autovalores y varianza de variables climáticas y fisiológicas de corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) con base en el análisis de componentes principales (n=20).

Ítems	PC 1	PC 2
ITH	0,71	-0,46
FR	0,77	0,30
FC	0,37	0,85
TR	0,46	-0,29
TS	0,81	-0,11
Autovalores	2,10	1,12
Varianza (%)	42,14	22,33

ITH: índice de temperatura y humedad, FR: frecuencia respiratoria, FC: frecuencia cardiaca, TR: temperatura rectal y TS: temperatura superficial del cuerpo, PC 1: componente principal 1, PC 2: componente principal 2.

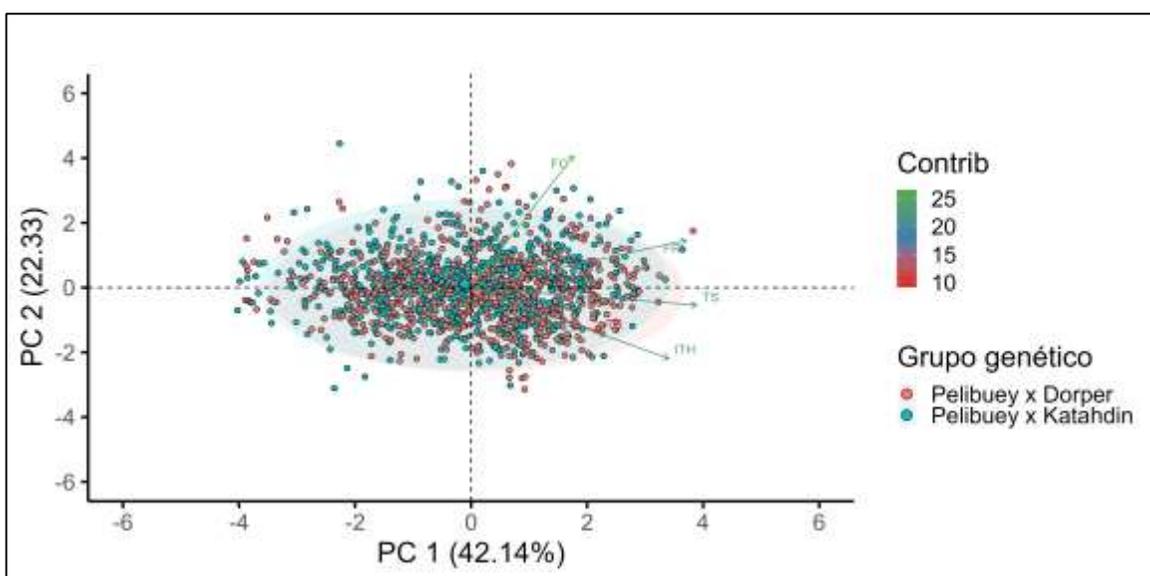


Figura 5. Biplot para el índice de temperatura y humedad (ITH) y las variables frecuencia respiratoria (FR), frecuencia cardiaca (FC), temperatura rectal (TR) y la temperatura superficial del cuerpo (TS) de los corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin), representados en los componentes principales (PC 1 y PC 2). Los círculos menores indican la variación individual, mientras que los círculos mayores representan el centroide para los cruces F1. Las elipses indican la concentración de los datos, las flechas indican los vectores de cada una de las variables con sus contribuciones.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONCLUSIONES

- La caracterización del microclima de los corrales en base al índice de temperatura y humedad (ITH) determinó que los horarios durante el día (10:00 a.m., 12:00 m.d., 2:00 p.m. y 4:00 p.m.) presentan condiciones estresantes para los corderos en estudio.
- Los corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin), independientemente de la semana y mes, son susceptibles al estrés calórico moderado y alto, cuando el índice de temperatura y humedad (ITH) es \geq de 79 unidades entre 10:00 a.m. y 4:00 p.m.
- El análisis de componentes principales reveló una respuesta fisiológica similar entre ambos corderos F1. La frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y la temperatura superficial resultaron ser variables altamente informativas para explicar la varianza de los datos en los corderos sometidos a estrés calórico.

RECOMENDACIONES

- Medir el índice de temperatura y humedad (ITH) para conocer el confort térmico que presentan los corrales. Además, monitorear la frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, temperatura rectal y la temperatura superficial de los animales para determinar el grado de estrés calórico.
- Implementar el uso de ventiladores con aspersión de agua en los corrales de engorde, para mejorar el confort térmico y disminuir el estrés calórico de los animales especialmente en los horarios entre 10:00 a.m., 12:00, 2:00 y 4:00 p.m.
- Utilizar el análisis multivariado de componentes principales para caracterizar los estudios comparativos de las respuestas fisiológicas de diferentes grupos genéticos de corderos bajo condiciones del clima tropical húmedo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

REFERENCIAS

- Alhidary, I., Shini, S., All Jassim, R., y Gaughan, J. (2012). Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load. *Journal of Animal Science*, 90(1), 212-220. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3972>
- Al-Haidary, A. A., Aljumaah, R. S., Alshaikh, M. A., Abdoun, K. A., Samara, E. M., Okab, A. B., y Alfuraiji, M. M. (2012). Thermoregulatory and Physiological Responses of Najdi Sheep Exposed to Environmental Heat Load Prevailing in Saudi Arabia. *Pakistan Veterinary Journal*, 32, 515-519. http://www.pvj.com.pk/pdf-files/32_4/515-519.pdf
- Andrade, I. S., Souza, B. B., Pereira Filho, J. M., y Silva, A. M. (2007). Parâmetros fisiológicos e desempenho de ovinos Santa Inês submetidos a diferentes tipos de sombreamento e à suplementação em pastejo. *Ciência e Agrotecnologia*, 31(2), 540-547. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000200039>
- Asmare, A., Puchala, R., Tesfai, K., Detweiler, G. D., Dawson, L. J., Askar, A. R., Sahlou, T., y Goetsch, A. L. (2012). Effects of small ruminant type and level of intake on metabolism. *Small Ruminant Research* 102, 186–190. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.08.003>
- Bianca, W., y Kunz, P. (1978). Physiological reactions of three breeds of goats to cold, heat and high altitude. *Livestock production Science*, 5(1), 57-69. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(78\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0301-6226(78)90007-6)
- Castanheira, M., Paiva, S. M., Louvandini, H., Landim, A., Fiorvanti, M. C. S., Dallago, B. S., Correa, P. S., y McManus, C. (2010). Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central Brazil. *Trop. Anim Health Prod.* 42(8), 1821-1828. <https://doi.org/10.1007/s11250-010-9643-x>
- Cedeño, H., Ríos, K., Pile, E., Saavedra, R., Sánchez-Galán, E., Pimentel, T., Remy, G., y Grajales-Cedeño, J. (2023). Efecto de la raza, época del año, mes y horario en las respuestas fisiológicas y productivas de cabras lecheras en ambiente tropical



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

húmedo. *Revista Semilla del Este*, 4(1), 166-191.
<https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n1.4446>

Cezar, M. F., Souza, B. B., Souza, W. H., Pimenta Filho, E. C., Tavares, G. P., y Medeiros, G. X. (2004). Avaliação de parâmetros fisiológicos de ovinos Dorper, Santa Inês e seus mestiços perante condições climáticas do trópico semi-árido Nordeste. *Revista Ciênc. Agrotec*, 28(3), 614-620. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300018>

Collier, R., Renquist, B., y Xiao, Y. (2017). A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*, 100, 10367–10380. doi: 10.3168/jds.2017-13676. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(17\)31033-0/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(17)31033-0/pdf)

Días, L. T., McManus, C., Louvandini, H., Gurgel, R., Sasaki, L. C. B., y Teixeira, R. A. (2007). Identificação da adaptação ao calor de ovinos de diferentes biótipos por meio de parâmetros fisiológicos. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 44 p. <https://livraria.funep.org.br/product/revista-brsileira-de-zootecnia-jaboticabal>

Dossa, L. H., Wollny, C., y Gauly, M. (2007). Smallholders' perceptions of goat farming in southern Benin and opportunities for improvement. *Trop Anim Health Prod* 39, 49–57 <https://doi.org/10.1007/s11250-006-4440-2>

Façanha, D. A. E., Chaves, D. F., Morais, J. H. G., Vasconcelos, Â. M., Costa, W. P., y Guilhermino, M. M. (2013). Tendências metodológicas para avaliação da adaptabilidade ao ambiente tropical. *Revista Brasileira de Saude e Producao Animal*, 14, 91–103.
<https://www.scielo.br/j/rbspa/a/Kdf76XkztcjVvHRnVX8mVBx/?format=pdf&lang=pt>

Garzón, A. J. (2011). Cambio climático: ¿cómo afecta la producción ganadera? REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 12 (8), 1-8.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63621920007>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Gomes, C. A., Furtado, D. A., Medeiros, A. N., Silva, D. S., Pimenta Filho, E. C., y Lima Júnior, V. (2008). Efeito do ambiente térmico e níveis de suplementação nos parâmetros fisiológicos de caprinos Moxotó. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(2), 213-219. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200015>
- Gómez-Hernández, L., González-Reyna, A., Zárate-Fortuna†, P., Faustino-Lázaro, B., Hernández-Meléndez, J., y Martínez-González, J. (2022). Comportamiento predestete del cordero, producción y calidad de la leche en ovejas de pelo. *Ciencia Agropecuaria*, (34), 1-22. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/583>
- Henderson, C. R. (1975). Best Linear Unbiased Estimation and Prediction under a Selection Model. *Biometrics*. 31(2), 423-447. <https://doi.org/10.2307/2529430>
- Kenward, M. G., y Roger, J. H. (1997). Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood. *Biometrics*, 53(3), 983-997. <https://doi.org/10.2307/2533558>
- Levene, H. (1960). "Robust Tests for Equality of Variances." Contributions to Probability and Statistics. (Edited by I. Olkin, et al.) Stanford: Stanford University Press, 1960. Chapter 25. pp. 278-292.
- McDowell, R. E., Hooven, N. W., y Camoens, J. K. (1976). Effect of climate on performance of Holstein in first lactation. *Journal of Dairy Science*, 59(5), 966-971. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84305-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84305-6)
- Mader, T. L., Davis, M. S., y Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 712-719. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=animalscifacpub>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Macías-Cruz, U., Sánchez, T. J., Gastelum, M. A., Alvendaño, L., Correa, A., Álvarez, F. D., Díaz, R., Meza, C. A., y Mellado, M. (2015). Actividad reproductiva de ovejas Pelibuey bajo condiciones áridas de México. *Arch Med Vet*, 47, 381-386. <https://www.redalyc.org/pdf/1730/173042665015.pdf>
- Mandal, D. K., Bhakat, C., y Dutta, T. K. (2021) Impact of environmental factors on physiological adaptability, thermo-tolerance indices, and productivity in Jersey crossbred cows. *Int J Biometeorol*, 65, 1999-2009. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02157-2>
- Marquínez-Batista, L. M., Saldaña-Ríos, C. I., Moreno, E. E., Rivera, R., Escudero, V., Sandoya, I., y Espinosa, J. (2022). Caracterización de la producción, agroindustrialización y comercialización de ovinos y caprinos en Panamá. *Revista Ciencia Agropecuaria*, (35), 30-52. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/594/474>
- Medeiros, L. F., Vieira, D. H., Oliveira, C. A., Fonseca, C. E., Pedrosa, I. A., Guerson, D. F., Pereira, V. V., y Madeiro, A. S. (2007). Avaliação de parâmetros fisiológicos de caprinos SPRD (Sem Padrão Racial Definido) Pretos e brancos de diferentes idades, à sombra, no Município do Rio de Janeiro, *RJ. B. Indústr. Anim., N. Odessa*, 64(4), 277-287. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:126468243>
- Moran, J. (2005). Tropical Dairy farming: feeding management for small Holder Dairy farmers in the humid tropics. Csiro Publínhing. <https://books.google.com.pa/books>
- Neiva, J. N., Teixeira, M., Turco, S. H., Oliveira, S. M., y Moura, A. A. (2004). Efeito do estresse climático sobre os parâmetros produtivos e fisiológicos de ovinos Santa Inês mantidos em confinamento na região litorânea no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira Zootecnia*, 33(3), 668-678. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000300015>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Oliveira, F. M. M., Dantas, R. T., Furtado, D. A., Nascimento, J. W. B., y Medeiros, A. N. (2005). Parâmetros de conforto térmico e fisiológicos de ovinos Santa Inês, sob diferentes sistemas de acondicionamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 631-637. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400029>
- Patterson, H. D., y Thompson, R. (1971). Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, 58(3), 545-554. <https://doi.org/10.1093/biomet/58.3.545>
- Pérez, R. V., Cruz, U., Avendaño, L., Correa, A., López, M., y Rivera, A. (2020). Impacto del estrés por calor en la producción de ovinos de pelo. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 205-222. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4923>
- Pinto-Santini, L., Ríos, L., Oliveros, A., Pigliacampo, A., y Chacón, T. (2014). Índices fisiológicos en corderas tipo West African con acceso voluntario a sombra artificial bajo condiciones de emergencia de calor leve. *Livestock Research For Rural Development*, 26(11) 1-9. <http://www.lrrd.org/lrrd26/11/pint26207.html>
- Preacher, K. J., y MacCallum, R. C. (2003). Repairing Tom Swift's electric factor analysis machine. *Underst. Stat.* 2(1), 13-43. <https://psycnet.apa.org/record/2004-12709-002>
- R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Ribeiro, M., Ribeiro, N., Bozzi, R., y Costa, R. (2018). Physiological and biochemical blood variables of goats subjected to heat stress – a review. *Journal of Applied Animal Research* 46, 1036–1041. <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1456439>
- Saldaña-Ríos, C. I., Ortega-Ríos, H., y Díaz-Granados, D. (2016). Constantes fisiológicas de ovinos Pelibuey, Dorper y Katahdin en ecosistema de bosque húmedo tropical. *Revista Ciencia Agropecuaria*, 25, 118-130.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/101>

Santos, J. R., Souza, B. B., Souza, W. H., Cezar, M. F., y Tavares, G. P. (2006). Respuestas fisiológicas e gradiente térmico de ovinos das raças Santa Inês, Morada Nova e seus cruzamentos com a raça Doper as condições do semiárido nordestino. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(5), 995-1001. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500025>

Santos, F. C., Souza, B. B., Alfaro, C. E., Cezar, M. F., Pimenta Filho, E. C., Acosta, A. A., y Santos, J. R. (2004). Adaptabilidade de caprinos exóticos e naturalizados ao clima semi-árido do Nordeste Brasileiro. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(1), 142-149. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000100018>

Shapiro, S. S., y Wilk, M. B. (1965). "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52(3-4), 591-611. <https://doi.org/10.2307/2333709>

Silanikove, N. (1992). Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livest. Production Science*, 30, 175-194. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(06\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(06)80009-6)

Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci domestic ruminants. Livestock production Science*, 67, 1-18. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7)

Silva, L. L. G. G., Resende, A. S., Dias, P. F., Souto, S. M., Azevedo, B. C., Vieira, S. M., Colombari, A. A., Torres, A. Q. A., Matta, P. M., Perin, T. B., Miranda, C. H. B., y Franco, A. A. (2008). Conforto térmico para novilhas mestiças em sistema silvipastoril. *EMBRAPA, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 34, 1-25. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/629889/1/bot034.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Silva, R. G., La scala J. R. N., y Pocay, P. L. B. (2001). Transmissão de radiação ultravioleta através do pelame e da epiderme de bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(6), 1939-1947. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000700034>

Swenson, M. J. (1988). *Duke's physiology of domestic animals*. 10. Ed. Rio de Janeiro, Guanabara 799 p.

Traoré, A., Tamboura, H. H., Kaboré, A., Royo, L. J., Fernández, I., Álvarez, I., Sangaré, M., Bouchel, D., Poivey, J. P., Francois, D., Toguyeni, A., Sawadogo, L., y Goyache, F. (2008). Multivariate characterization of morphological traits in Burkina Faso sheep, *Small Ruminant Research*, 80 (1-3), 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.09.011>

Veríssimo, C. J., Titto, C. G., Katiki, L. M., Bueno, M. S., Cunha, E. A., Mourão, G. B., Otsuk, I. P., Pereira, A. M.F., Nogueira Filho, J. C. M., y Titto, E. A. L. (2009). Tolerância ao calor em ovelhas Santa Inês de pelagem clara e escura. *Revista Brasileira Saúde Produção Animal*, 10(1), 159-167. <http://www.rbspa.ufba.br>

Yousef, M. K. (Ed.). (1985). *Stress Physiology in Livestock. Basic Principles*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Jihad Badr Darybara Issa, por permitir el uso de las instalaciones y los animales para esta investigación. A la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá (FCA-UP) por el apoyo brindado para el desarrollo de este estudio. Al Ing. Christian De León y a los Sres. José Pérez y Álvaro Acosta por la colaboración en el manejo de los animales durante el estudio.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFFECTO DEL ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO SOBRE EL ESTADO VEGETATIVO DE LA PLANTA DE CACAO¹

*Jhon Alexander Villalaz-Pérez²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³;
Adolfo Santo-Pineda⁴; Abiel Gutiérrez-Lezcano⁵; Agustín Merino⁶*

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar de forma preliminar el índice de estrés hídrico en el cultivo de cacao, se realizó un experimento en dos ambientes (semi controlado y en campo abierto), durante los años 2020 y 2021, en el distrito de Almirante, Bocas del Toro (Panamá). En el ambiente semi controlado se evaluaron cuatro tratamientos y cinco repeticiones (20 plántones) en un diseño completamente al azar. Los tratamientos consistieron en distintos regímenes de riego, donde el T1 = testigo; T2 = 60% de humedad; T3 = capacidad de campo; T4 = punto de marchitez permanente. En campo abierto se realizó en una plantación de cacao donde se monitoreo 24 plántones. En ambos ambientes se midieron índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), temperatura del suelo y planta (hojas) utilizando plántones de tres meses de edad del genotipo de cacao AS-CP 26-61 Mulato (morado y blanco). En el primer estudio se monitoreo hasta que las plantas del T4 se marchitaron y murieron. En campo abierto se evaluó en un periodo de nueve meses haciendo coincidir los meses de mayor y menor precipitación. Se encontró que con un intervalo de porcentaje de humedad en las hojas de 20 a 62% el cultivo presentó un NDVI de 0,40 a 0,80, siendo mayormente favorable valores próximos a 1. Por otro lado, para el período estudiado el cultivo mostró estrés hídrico en los meses de marzo a mayo. Se concluye que, las plantas de cacao presentaron un buen vigor vegetal, de acuerdo con el NDVI, aunque estuvieron afectadas con un índice de estrés hídrico por temperatura en dos meses no consecutivos, lo que podría afectar las distintas fases fenológicas repercutiendo en la baja producción.

Palabras claves: Inceptisol, medio ambiente natural, régimen de humedad, temperatura, vegetación.

¹Recepción: 14 de marzo de 2023. Aceptación: 20 de septiembre de 2023. Proyecto de Investigación e Innovación para el cultivo de cacao en sistemas agroforestales en Bocas del Toro y Comarcas.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria de Divisa (CIA Divisa). e-mail: jvillalaz14@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5382-5549>

³IDIAP, CIA Divisa. e-mail: jevilla38@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1317-1960>

⁴IDIAP, CIA Divisa. e-mail: asantospineda@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9561-2103>

⁵IDIAP, CIA Bocas del Toro. e-mail: abiel.gutierrez@yahoo.es

⁶Universidad Santiago de Compostela. Lugo, España. Departamento de Edafología y Química Agrícola. e-mail: agustin.merino@usc.es; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3866-7006>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFFECT OF THE WATER STRESS INDEX ON THE VEGETATIVE STATUS OF THE COCOA PLANT

ABSTRACT

The preliminary aim of this study was to evaluate the water stress index as an indicator of the absorption of water by the plant and its effect on the vegetative growth of the cocoa crop. An experiment was carried out in two environments (semi controlled and open field), during the years 2020 and 2021, in Almirante district, Bocas del Toro (Panama). In the semi controlled environment, four treatments and five repetitions (20 seedlings) were evaluated in a completely randomized design. The treatments consisted of different irrigation regimes, where T1= Witness; T2 = 60% humidity; T3= field capacity; T4= permanent wilting point. In the open field, it was carried out in a cocoa plantation where 24 seedlings were monitored. In both environments, normalized difference vegetation index (NDVI), soil temperature and plant (leaves) temperatures were measured using three-month-old seedlings of the improved AS-CP 26-61 cacao genotype. The data in the first study was monitored until the T4 plants died. In the open field, it was evaluated over a period of nine months, coinciding with the months of greatest and least rainfall. It was found that with a leaf humidity interval of 20 to 62%, the crop will present an NDVI of 0.40 to 0.80, with values close to 1 being mostly favorable. On the other hand, for the period studied, the crop showed water stress in the months of March and May. It is concluded that cocoa plant presented a good vegetal vigor according to the NDVI, although they were affected with an index of water stress due to temperature in two non-consecutive months, which could affect the different phenological phases, affecting the low production.

Keywords: Inceptisol, natural environment, humidity, temperature, vegetation.

INTRODUCCIÓN

El estrés hídrico afecta a la planta de cacao en el crecimiento inicial, atrasando el desarrollo vegetativo y provocando, en muchos casos, efectos desventajosos en el metabolismo y fotosíntesis (García - Lozano, 2014; Janani et al., 2019). En la vegetación es causado principalmente por déficit de humedad en la zona de la raíz, haciendo que las hojas de la planta cierren sus estomas para minimizar la pérdida de agua por transpiración (Girolimetto, 2014). El cacao (*Theobroma cacao* L.), es considerado como una planta hidrófila, siendo la humedad del suelo un factor ambiental principal que induce los brotes vegetativos y estimula la floración. La sequía puede afectar negativamente estos procesos



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

fisiológicos del cultivo (García - Lozano y Moreno - Fonseca, 2016), como la fructificación y madurez del fruto de cacao (Sosa y Ramírez, 2020).

Los cambios ambientales activados por la sequía y la falta de agua en el cultivo de cacao han sido estudiados por varios investigadores, entre estos Daymond y Hadl (2004); Balasimha et al. (2013). Cuando los árboles evapotranspiran durante períodos de temperatura alta, la humedad resultante acumulada en el suelo en meses no es suficiente para satisfacer la demanda de agua en la planta (Medina y La liberte, 2017).

La diferencia que existe entre la temperatura del cultivo y la temperatura del aire, y del suelo han sido empleados como índices asociados al estado hídrico de la vegetación (Nicols et al., 2010). En general, el cacao necesita precipitaciones uniformes repartidas durante todo el año con lluvias promedias que oscilan entre 1500 y 2800 mm por año con un mínimo mensual de 100 mm (International Cocoa Organization [ICCO], 2018).

El potencial hídrico en el tejido foliar y el crecimiento de la planta de cacao se pueden describir como variables fisiológicas muy sensibles al exceso o déficit de agua (García Lozano y Moreno – Fonseca, 2016). Estudios realizados en Colombia por García - Lozano (2014), para tres clones de cacao, reportó diferencias en la fotosíntesis, transpiración y resistencia estomática durante la disminución gradual de los contenidos de humedad del suelo y de la hoja, encontraron correlación positiva alta entre el potencial hídrico foliar y la fotosíntesis.

Por otra parte, el cambio climático ha afectado diversos cultivos, entre estos el cacao tomando mayor importancia los estudios de variación de régimen de lluvia y temperatura (suelo y planta) que pueden interferir en el excesos o déficit de lluvias (Lau et al., 2011).

Falta de lluvia en el momento adecuado

Los productores de cacao de algunas regiones de Latinoamérica (p.ej., República Dominicana, Costa Rica, Ecuador y Panamá) detectaron mermas de la producción, que se atribuyen a crecientes períodos de sequía y altas temperaturas que, además de afectar al



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

estado fisiológico de la planta, favorecen la aparición de plagas y enfermedades, afectando a la producción (Medina y La liberte, 2017). En relación con, algunos autores mostraron una anomalía por un mayor período de sequía en muchas regiones caribeñas, como consecuencia del calentamiento global (Herrera et al., 2018), incidiendo en las etapas de fructificación y madurez del fruto de cacao (Sosa y Ramírez, 2020).

Ante las condiciones climáticas adversas, donde cada vez se presentan temporadas largas sin lluvias (Samaniego et al., 2021), es necesario conocer si la absorción de agua por el cultivo es suficiente para evitar el estrés en los árboles. Existen estudios que demostraron la resistencia al déficit de agua de genotipos de cacao en la cual tienen un mecanismo eficiente de regulación estomática que limitan la transpiración afectando la fotosíntesis (De Almeida y Valle, 2001).

Por otro lado, el uso de materiales genéticos mejorados de cacao pueden ser la alternativa a la variabilidad climática que provoca altas temperaturas y periodos extremos de sequias (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016). Por esta razón, el uso del material genéticamente mejorado como clon colección Panamá (AS-CP 26-61) fino de aroma pudiendo ser una alternativa para los productores de Panamá. Se trata de un genotipo muy interesante por sus alto rendimiento y alta calidad (Gutiérrez, 2020).

Es necesario implementar herramientas que nos ayuden a corroborar si las plantas de cacao pueden presentar un estrés hídrico que comprometa a largo plazo el rendimiento del cultivo. El objetivo de este primer ensayo fue evaluar de forma preliminar el índice de estrés hídrico como indicativo de la absorción del agua por la planta y su efecto en el crecimiento vegetativo del cultivo de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general de la zona de estudio

El estudio se realizó en el distrito de Almirante, Bocas del Toro (Panamá). El clima de Bocas del Toro según Köppen (1936), actualizado por Peel et al. (2007), se clasifica como clima tropical muy húmedo. La precipitación media anual es 2735 mm. La



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

temperatura media anual se encuentra en 24,3° C (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia [IGNTG], 2007). Se verificaron aumentos de la temperatura media entre 0,5° C y 3° C, entre los años 1901 y 2012 en las regiones de América Latina y el Caribe se redujo la precipitación debido al cambio climático, y al norte de la República de Panamá y Centroamérica (Bofill, 2022).

Los suelos en el distrito de Almirante (ver Cuadro) corresponden al orden Inceptisol (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2014; Villalaz-Pérez et al., 2021). El contenido de carbonó orgánico en el suelo varía de 0,7 % a 7,8 %, que van de bajos a altos y el pH presenta niveles de muy ácidos a ácidos (4,2 a 5,9) y las texturas van de francas a franca arenosa (Name y Cordero, 1987; Villalaz-Pérez et al., 2021).

Diseño experimental de los ensayos de investigación

El estudio consistió en evaluar en dos ambientes (semi controlado y ambiente natural o campo abierto) el índice de estrés hídrico por temperatura del suelo y cultivo, tomando en cuenta el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la humedad del cultivo, durante el 2020 y 2021.

La primera investigación se realizó en ambiente semi controlado (Figura 1), en una casa de vegetación. El segundo estudio se realizó en ambiente natural o campo abierto (Figura 2) con un cultivar comercial de cacao, colindante a la casa de vegetación en el distrito de Almirante, Bocas del Toro (Panamá), cuyas coordenadas geográficas son 9° 16' 33" de latitud Norte y 82° 25' 6" de longitud Oeste.

En ambos ambientes se utilizaron plántones de tres meses de edad del genotipo de cacao criollo mejorado y codificado en Panamá como: AS-CP 26-61.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 1. Ensayo en ambiente semi controlado, utilizando plantas de cacao del Clon AS-CP-2661.



Figura 2. Ensayo en ambiente natural o campo abierto, utilizando plantas de cacao del Clon AS-CP-2661 ubicado en Almirante, provincia de Bocas del Toro, República de Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En el ambiente semi controlado, se establecieron cuatro tratamientos y cinco repeticiones (20 plantones) en un diseño completamente al azar. Con un tensiómetro se monitoreo la condición de humedad en el suelo utilizada en el experimento. Los tratamientos contaron con distintos regímenes de riego para generar diferentes porcentajes de humedad de suelo: T1= Testigo (agua aplicada al cultivo ocasionalmente por lluvias o riego artificial); T2 = 60% de humedad (suelo sometido a un nivel freático alto o suelo saturado con todos los espacios porosos llenos de agua); T3= 1/3 de atmósfera (capacidad de campo); T4= 15 atmósfera (punto de marchitez permanente).

Cuadro. Característica del suelo utilizado en los dos ensayos.

pH	N	MO	P	CICe	K	Ca	Mg	Al	Cu	Zn	Fe	Mn	A	L	Arc
	-----%-----	mg kg ⁻¹		-----cmol (+) kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----					-----%-----	
6.6	0.3	1.4	24	26	0.3	19	6	0	3	6	58	46	55	29	16

El pH es en agua con una relación 1:2.5; P extraído en Mehlich 1; Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Agua del IDIAP.

Metodología de muestreo y

Análisis de las muestras de suelo, plantas y variables climáticas

Índice de vegetación de diferencia normalizada

El índice de vegetación de diferencia normalizada (siglas en ingles NDVI) permitió determinar el contenido de clorofila en la hoja, nutrición o estado nutricional de la planta, el estado hídrico del cultivo y estimación de biomasa (Kross et al., 2015; Kumar et al., 2018). Este índice se basa en la diferencia de reflectividad entre el rojo y el infrarrojo próximo (Meneses-Tovar, 2011) la cual relaciona la información adquirida en las regiones del Rojo y NIR con el estado y características de las cubiertas vegetales, por medio de la diferencia normalizada de las dos bandas, cuyo rango de variación se encuentra entre -1 y 1 (Gilabert et al., 1997) siendo los valores más altos (0,7 a 0,8) los indicadores de plantas con mejores condiciones o las hojas verdes y saludables (Monteith y Unsworth, 2008).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se utilizó un GreenSeeker® (Lawton, 2008) y la ecuación siguiente, descrita por Jones et al. (2007).

$$NDVI = \frac{NIR - REDNIR}{NIR + RED}$$

Dónde: RED ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) es la radiación roja incidente sobre la superficie vegetal y NIR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) es la radiación infrarroja cercana reflejada por ella. El GreenSeeker® utiliza diodos que emiten la luz con base en la cual se calcula el NDVI. La luz incidente natural es separada de la producida por el instrumento electrónicamente.

En el ambiente semi controlado se utilizó una casa de vegetación techada para los tratamientos de 2 a 4, y se tomaron datos de temperatura en el suelo y en la cuarta hoja del cultivo de cacao según la metodología propuesta por Puentes-Paramo et al. (2016), incluyendo el tratamiento 1. El NDVI fue determinado una vez por día (12 h, coincidiendo con el momento de mayor evapotranspiración en la plana). El suelo utilizado para el tratamiento T4 (punto de marchitez permanente) fue llevado a capacidad de campo. Después de las seis semanas se tomaron los datos de temperaturas y NDVI hasta que las plantas se marchitaron y murieran.

Los datos del experimento en ambiente semi controlado, sirvieron para construir un modelo predictivo para ubicar los datos de NDVI y humedad del cultivo cuando se tomen en ambiente natural (campo abierto).

Bajo las condiciones de ambiente natural se tomaron datos de temperatura de suelo y cultivo (NDVI) una vez por mes, durante nueve meses desde septiembre 2020 hasta mayo de 2021, coincidiendo con los meses de mayor y menor cantidad de lluvias. La temperatura del suelo y cultivo se verificaron con un termómetro infrarrojo (López-López et al., 2009). La temperatura del aire utilizada en los datos del segundo ensayo a campo abierto fue determinada con una estación meteorológica automatizada Tipo A perteneciente al IDIAP.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Índice hídrico por temperatura del cultivo y suelo

El índice hídrico por temperatura ($T_c - T_a$) y ($T_s - T_a$) se determinó por medio de la diferencia entre la temperatura del cultivo (T_c) y suelo (T_s) con la temperatura del aire (T_a). El índice de vegetación normalizada (NDVI) fue medido con un sensor portátil (GreenSeeker®) y se utilizaron las metodologías descritas por Manrique, (1999). La humedad gravimétrica en la hoja (H_c) de acuerdo a los métodos descritos por Martínez (1971).

Interpretación de los índices hídricos

La interpretación de los índices hídricos por temperatura para el cultivo ($T_c - T_a$) y suelo ($T_s - T_a$), consistió en que los valores registrados con signo positivos presentaron estrés hídrico.

Cuando una planta transpira sin estrés hídrico, la temperatura de la hoja es entre 1° y 4° C menor que la temperatura ambiental, siendo en este caso el índice de estrés hídrico del cultivo ($T_c - T_a$) un valor a 0. Cuando la transpiración decrece, la temperatura de la hoja asciende y puede alcanzar de 4° a 6° C más que la temperatura del aire. En este caso, el déficit hídrico es alto, la transpiración de las hojas se ve drásticamente reducida con el incremento de la temperatura foliar; cuando la planta se marchita y muere o no transpira durante mucho tiempo, el índice de estrés hídrico es 1 (Idso, 1982).

Características físico-química y biológica del suelo utilizado en los ensayos

Para conocer las características del suelo se tomaron muestras a profundidad de 0 a 30 cm. El pH (acidez activa) con la relación 1:2.5 (suelo-agua) se determinó con el potenciómetro utilizando técnicas descritas por Teixeira et al. (2017). El Carbono Orgánico del Suelo (COS se analizó mediante el método de Walkley y Black (1934). El N total se determinó por digestión Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1983). Para la extracción de los microelementos (Cu, Fe, Zn, Mn) se utilizó el método extractor Mehlich-1.

Los cationes Ca, Mg y K se determinaron mediante extracción con una solución de KCl-1N según metodologías descritas por Teixeira et al. (2017). El Al intercambiable se determinó con la solución extractora KCl 1 M, según Díaz-Romeu y Hunter (1978). La



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe) se determinó mediante la sumatoria de bases (Ca, Mg, K) + Al. Por otro lado, el análisis físico granulométrico de textura del suelo se realizó usando la metodología de Bouyoucos (1962) y triángulo textural USDA.

Toma de muestras y análisis gravimétrico en hojas de cacao

Las hojas de las plantas se colectaron dos por cada árbol tomando la cuarta hoja próxima al ápice que está ubicada en la parte media del árbol de cacao, siguiendo la metodología recomendada por Puentes-Paramo et al. (2016). Las hojas, se llevaron a la estufa para el secado a una temperatura de 60° C hasta mantener un peso constante, que sirvió para el cálculo de la humedad gravimétrica del cultivo.

La biomasa aérea antes y después de cada ensayo en la planta de cacao se determinó mediante ecuación alométrica descrita por Andrade et al. (2008):

$$B_t = 10^{(-1.625 + 2.63 \cdot \text{Log}(d_{30}))}$$

Donde: B_t : biomasa arriba del suelo o aérea (kg árbol^{-1}) y d_{30} : diámetro del tronco a 30 cm de altura.

Para conocer si la planta de cacao fue sometida a un estrés hídrico inducido con diferentes condiciones de humedad, se realizaron regresión lineal y gráficas de barras y comparación de medias para biomasa en los tratamientos en el ambiente semi controlado y el ambiente natural mediante la prueba Diferencia Mínima Significativa (DMS) Fisher ($P < 0,05$). Los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico InfoStat versión 2022 (Di Rienzo et al., 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NVDI) se relacionó con el porcentaje de humedad del cultivo ($H_c = \%$) medidos en plantas de cacao durante la etapa de crecimiento para dos ambientes distintos: casa de vegetación y a campo abierto (Figura 3).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Se encontró que los valores menores de 20% de humedad del cultivo (Hc) presentaron un NDVI inferior de 0,40, esto indicó que las plantas sufrieron estrés hídrico. Contrario a los valores observados en la misma Figura 3, donde la curva presenta una inflexión con valores de 0,80 en NDVI y 62% de humedad del cultivo, estos valores corroboran que las plantas presentaron un buen desarrollo vegetativo sin estrés hídrico (Montheith y Unsworth, 2008).

Estudios similares descritos por Aguilar et al. (2010) y Palacio-Vélez et al. (2011), confirman que los valores de NDVI disminuyen drásticamente cuando el estrés hídrico del cultivo es mayor, pudiendo ser por clorosis en las hojas o poca biomasa.

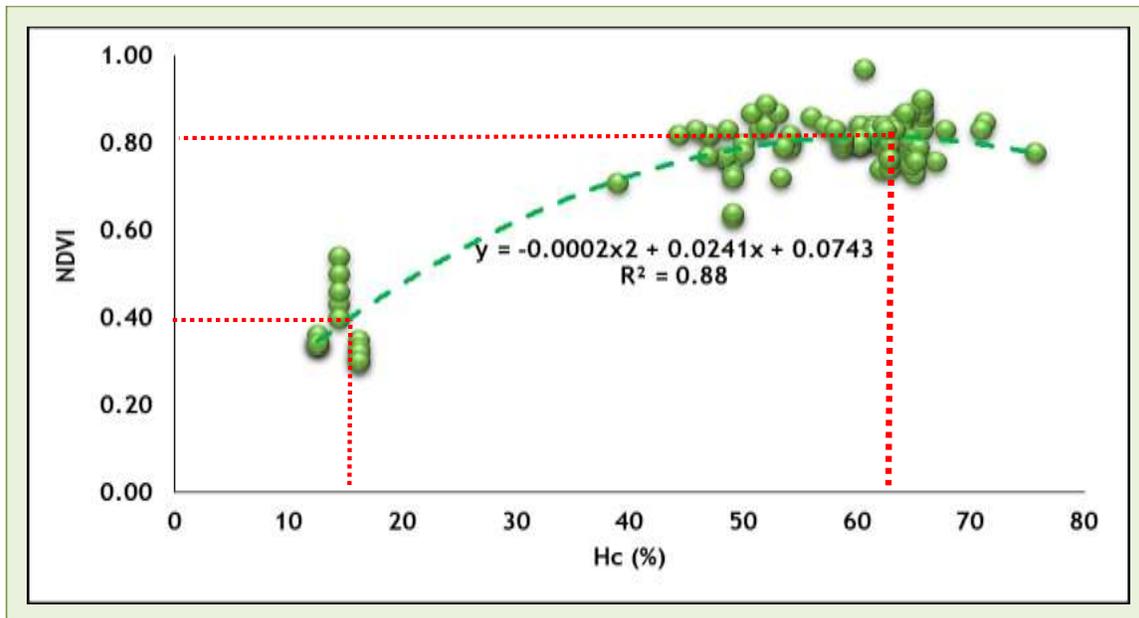


Figura 3. Relación entre el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y porcentaje de humedad del cultivo (Hc = %), considerando los dos ambientes seleccionados para el cultivo de cacao Clon genotipo AS-CP- 266.

Los valores encontrados para los índices de estrés hídrico en la temperatura del suelo y del cultivo (Figura 4), pueden establecer con mayor claridad que las plantas de cacao fueron sometidas mayormente a un estrés hídrico por temperatura entre los meses de marzo y mayo según metodología de interpretación de Idso (1982), a pesar de que la lluvia en esta región alcanza un promedio anual de 2 700 mm. Esto puede indicar que la



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

lluvia no estuvo bien distribuida durante todo el año, afectando el crecimiento aéreo de la planta causado por el cierre de estomas reduciendo la fotosíntesis (Azcón-Bieto y Talon, 2008; Skirycz e Inzé, 2010).

En los demás meses evaluados (septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero) las plantas de cacao no presentaron estrés hídrico, asumiendo entonces que las plantas mantuvieron mayor transpiración (Idso, 1982). En comparación con otros cultivos arbóreos, el cacao no tolera periodos prolongados de sequías, lo que afecta las fases vegetativas del cultivo (Raja Harun y Hardwick, 1988).

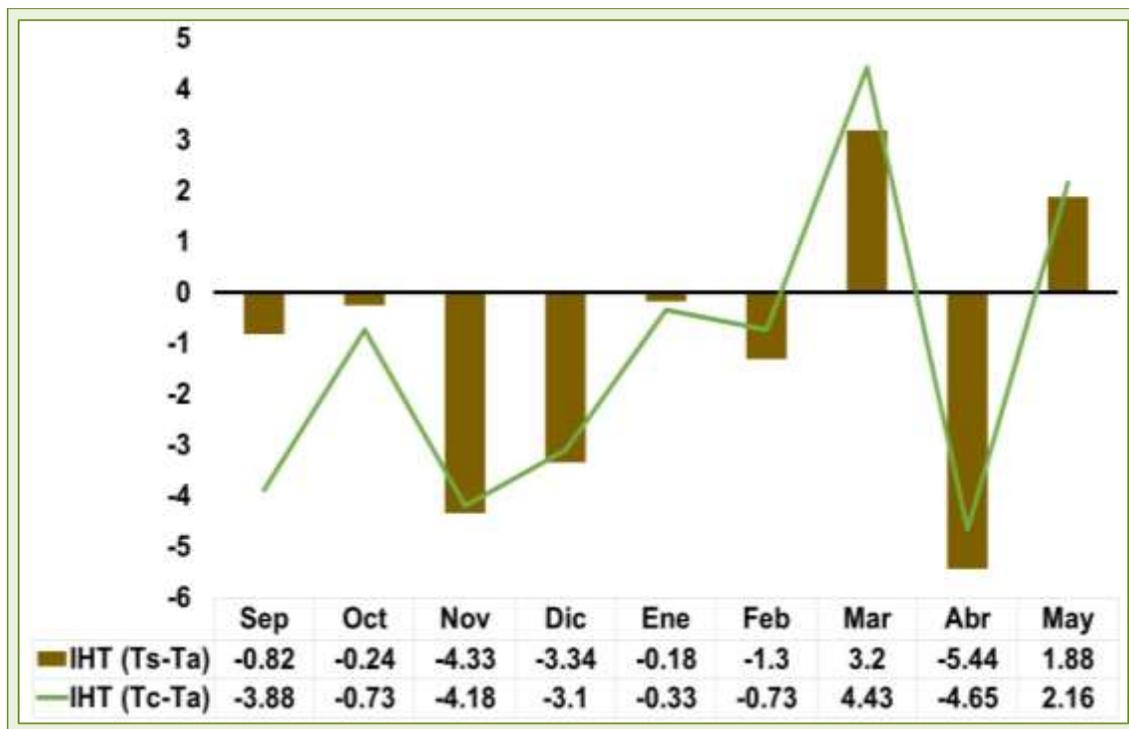


Figura 4. Comportamiento del índice hídrico para la temperatura (IHT) del suelo y el cultivo en el ambiente natural o campo abierto en el cultivo de cacao del Clon genotipo AS-CP-2661.

Con respecto a la biomasa aérea inicial y final en la planta de cacao, se encontraron diferencias significativas cuando fue sometida a distintos regímenes de humedad del suelo, en los experimentos en ambiente semi controlado y ambiente natural (Figura 5).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La prueba estadística DMS ($P < 0,05$) no mostró diferencias significativas para las variables de biomasa aérea inicial en la planta de cacao cuando fue sometida a distintos regímenes de humedad del suelo en el ensayo de ambiente semi controlado.

Los valores obtenidos en el testigo para la variable biomasa aérea inicial y final fueron mayores a los valores presentados en el ambiente natural. Esto pudo deberse a que al testigo (ubicado en la casa de vegetación) se le suministró agua ocasionalmente (precipitación pluvial o riego artificial) y el ambiente natural fue interrumpido por periodos largos sin precipitación pluvial.

El tratamiento de 60% de humedad en el suelo, fue el que mayor biomasa aérea inicial y final obtuvo al compararse con los demás tratamientos evaluados.

Los valores encontrados para la variable biomasa aérea final o en el ensayo del ambiente natural fue menor en comparación con el tratamiento de 60% de humedad del suelo. Esta situación se puede explicar debido a que, en los meses de marzo a mayo en el ensayo bajo condiciones de ambiente natural, las plantas de cacao presentaron un estrés hídrico a la temperatura observada.

Estudios similares realizados en Colombia en plantas híbridas de cacao IMC 67, encontraron una relación directa entre la temperatura del suelo y de las hojas e indirecta con la humedad del suelo, concluyendo en que las hojas de cacao regularon la temperatura a 25° C, con un límite mínimo de humedad del suelo de 27% (Osorio et al., 2017).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

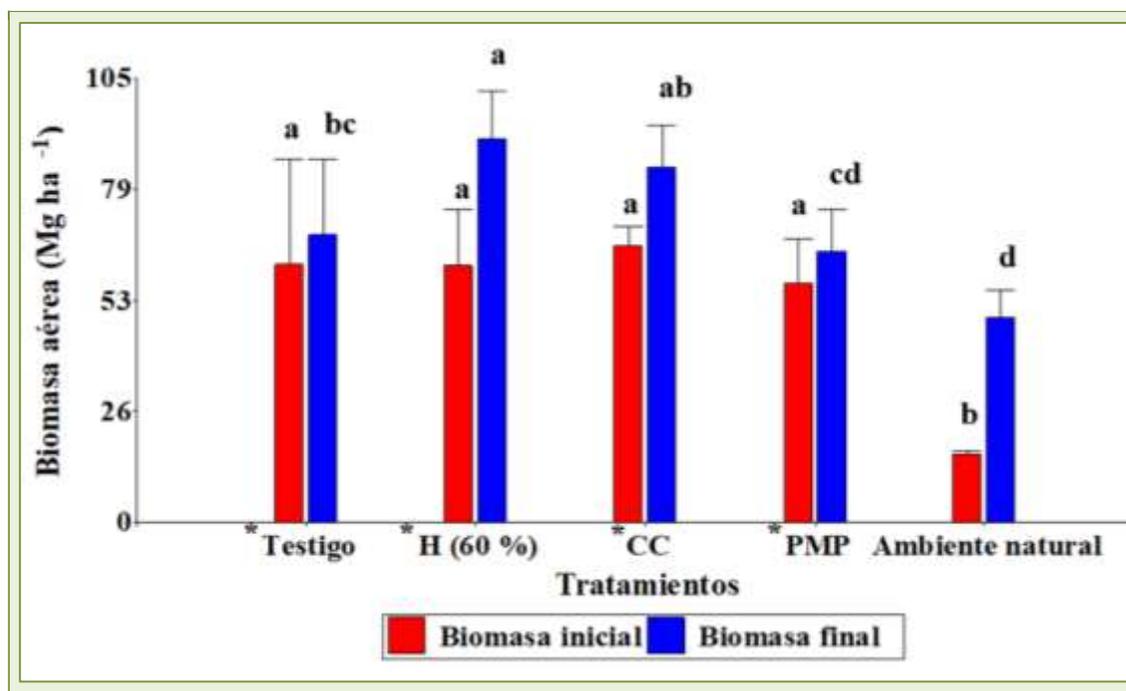


Figura 5. Comparación de la biomasa aérea inicial y final en planta de cacao cuando es sometida a distintos regímenes de humedad del suelo en ambiente semi controlado identificado con un (*) y el ambiente natural. Ambos ensayos se realizaron con el mismo tipo y edad de planta y el mismo período. CC: capacidad de campo; PMP: punto de marchitez permanente. Letras diferentes representan no significancia estadística en la prueba LSD de Fisher ($P < 0,05$).

CONCLUSIONES

- El experimento sobre el índice de estrés hídrico en plantas de cacao bajo condiciones de ambientes semi controlado y en campo abierto realizado en Almirante, Bocas del Toro, demostró que el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), ayudó a relacionar el porcentaje de humedad del cultivo con el estrés hídrico que presentaron las plantas de cacao durante la temporada seca.
- El GreenSeeker TM demostró ser una herramienta eficaz para el monitoreo del estrés hídrico y respuesta fisiológica que las plantas de cacao ante evento de sequías, y lograr realizar los correctivos necesarios para no comprometer el rendimiento del cultivo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- La disponibilidad de agua en ambiente semi controlado y el ambiente natural derivó en un efecto directo en la biomasa aérea de la planta de cacao, esto demostró que es una planta hidrófila, que en casos contrarios como extremas sequías y altas temperaturas puede tener un efecto irreversible en el rendimiento.

REFERENCIAS

- Aguilar, N., Galindo, G., Fortanelli, J., y Contreras, C. (2010). Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. Universidad de Colima. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(2), 49-65.
<https://www.redalyc.org/pdf/837/83715125003.pdf>
- Andrade, H. J., Segura, M., Somarriba, E., y Villalobos, M. (2008). Valoración biofísica y financiera de la fijación de carbono por uso del suelo en fincas cacaoteras indígenas de Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 46, 45-50.
<https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10054/A11506e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Azcón-Bieto, J., y Talon, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*, segunda/Ed. Mc Graw Hill/Interamericana de España.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Balasimha, D., Apshara, S.E., y Jose, C.T. (2013). 'Genotypic variations in chlorophyll fluorescence and stomatal conductance of cocoa in relation to drought tolerance', *Journal of Plantation Crops*, 41(1), 40-45.
- Bofill, P. (2022). "Aumento de la ambición en la adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe", Documentos de Proyectos (LC/TS.2022/7), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/47729-aumento-la-ambicion-la-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method for making particle size analysis de soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.

<https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

Bremner, J. M., and S. Mulvaney C. (1983). Nitrogen total. In: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron. No 9 in Agronomy Series. Madison, Wisconsin. USA. pp. 595-624.*

<https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>

Daymond, A., y Hadley, P. (2004). 'The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao* L.)', *Annals of Applied Biology*, 145(3), 257–262.

<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00381.x>

De Almeida, A., Brito, R. C., Aguilar, M., & Valle, R. R. (2001). Some water relations aspects of *Theobroma cacao* clones. In *Proceedings 13th International Cocoa Research Conference, Kota Kinabalu, Malaysia, October 2000. pp. 349-363.*

Díaz-Romeu, R., y Hunter, A. (1978). *Metodologías de Muestreo de suelos. Análisis químico de suelos y tejido vegetal y de Investigaciones en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. pp. 70.* <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A4008e/A4008e.pdf>

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C.W. (2008). *InfoStat versión (2008). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.*

https://www.academia.utp.ac.pa/sites/default/files/docente/51/manual_infostat_esp.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Cambio climático agricultura y seguridad alimentaria.* <https://www.fao.org/documents/card/es/c/540ee8ef-0c09-42c3-843e-4257f89c2fdb>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- García - Lozano, J., y Moreno – Fonseca, L. P. (2016). Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. En etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. *Acta Agronómica* 65(1), 44-50. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n1.48161>.
- García - Lozano, J. (2014). *Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (Theobroma cacao L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico*. Bogotá, Colombia. 56, 45. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52256>
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., y García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8, 1-10. <http://www.aet.org.es/?q=revista8-4>
- Girolimetto, D. T. (2014). *Evaluación del estrés hídrico y de los factores que lo afectan usando información teledetectada*. Universidad Nacional del Litoral, Southern Great Plains, Estados Unidos. <http://hdl.handle.net/11185/567>
- Gutiérrez, A. (2020). Caracterización Morfológica de tres genotipos criollos promisorios de *Theobroma cacao* L. *Ciencia Agropecuaria*, (30),150-169. <http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/134/98>
- Herrera, D. A., Ault, T. R., Fasullo, J. T., Coats, S. J., Carrillo, C. M., Cook, B. I., y Williams, A. P. (2018). Exacerbation of the 2013–2016 pan-Caribbean drought by anthropogenic warming. *Geophysical research letters*, 45(19), 10-619. <https://doi.org/10.1029/2018GL079408>
- Idso, S. B. (1982). Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27, 59-70. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(82\)90020-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(82)90020-6)
- Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. (2007). *Atlas Nacional de la República de Panamá*. Editora Novo Art., Bogotá, COL.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

International Cocoa Organization. (2018). Mercado mundial del cacao.

Janani, P., Kumar, N., y Jegadeeswari, V. (2019). Dinámica del intercambio gaseoso y parámetros de fluorescencia de clorofila de genotipos de cacao en respuesta al déficit hídrico. *Revista de Farmacognosia y Fitoquímica*, 8 (6), 415-419.

Jones, C. N., Weckler, P. R., Maness, N. O., Jayasekara, R., Piedra, M. L., y Chrz, D. (2007). Teledetección para estimar la concentración de clorofila en espinacas utilizando reflectancia vegetal multispectral. *Transacciones de la ASABE*, 50(6), 2267-2273.

Köppen, W. (1936). Das Geographische System der Klimate en Handbuch der Klimatologie, R, Geiger. Berlín, Borntraeger, t. I, fasc. C. 44p. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Das_geographische_System_der_Klimate_\(1936\).pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Das_geographische_System_der_Klimate_(1936).pdf)

Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M., y Champagne, C. (2015). Evaluación de índices de vegetación RapidEye para la estimación del índice de área foliar y biomasa en cultivos de maíz y soja. *Revista Internacional de Observación Aplicada de la Tierra y Geoinformación*, 34, 235-248.

Kumar, V., Sharma, A., Bhardwaj, R., y Thukral, A. K. (2018). Comparación de diferentes índices de reflectancia para análisis de vegetación utilizando datos Landsat-TM. *Aplicaciones de la teledetección: sociedad y medio ambiente*, 12, 70-77.

Lau, C. H., Jarvis, A., y Ramírez, J. (2011). Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 4p.

Lawton, K. (2008). Los sensores de cultivos alcanzan la mayoría de edad. El granjero progresista 2008:1-4.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M., López-Cruz, I., Sánchez-Cohen, I., y Ruiz-García, A. (2009). Índice de estrés hídrico del cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa Brot.*). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(3), 259-267.

Martínez, M. M. (1971). *Calibración y comparación de algunos métodos para la determinación de humedad del suelo*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Manrique, E. (1999). Índice de vegetación. Aplicación Delaware NDVI. Teledetección, avances y aplicaciones. Asociación Española de teledetección. pp. 217 – 219.
<http://www.aet.org.es/congresos/viii/alb52.pdf>

Medina, V., y La liberte B. (2017). A review of research on the effects of drought and temperature stress and increased CO₂ on *Theobroma cacao* L., and the role of genetic diversity to address climate change. Costa Rica: Bioversity International.

Meneses-Tovar, C. L. (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasyva*, 238, 62(2), 39-46.

Montheith, J. L., y Unsworth, M. H. (2008). Principles of environmental physics. 3 ed. Academic Press, Boston, Estados Unidos. 418 p.

Name, B., y Cordero, A. (1987). Alternativas para uso y manejo de suelos ácidos en Panamá. In Compendio de Resultados de Investigación presentados en la Jornada Científica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Región Central, 23.

Nicols, R., Estrela, M., Valiente, J., y Barbera, M. (2010). Análisis de correlaciones entre la temperatura del aire y la temperatura de las superficies vegetadas medida con radiometría térmica. *Revista de teledetección*, 34, 36-43.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Osorio, M. A., Leiva, E. I., y Ramírez, R. (2017). Cacao (*Theobroma cacao* L.) seedlings growth in different pot sizes. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6223306>

Palacios-Vélez, E., Palacios-Sánchez, J., y Palacios-Sánchez, L. (2011). Agricultura de riego asistida con satélites. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(2), 69-81. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000200005

Peel, M. C., Finlayson, B. L., y McMahon, T. A. (2007). "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>

Puentes-Paramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., y Aranzazu-Hernandez, F. (2016). Concentration of nutrients in leaves, a tool for nutritional diagnosis in cocoa. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329-336. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S165913212016000200329&script=sci_abstract

Raja Harun, R. M., y Hardwick, K. (1988). The effect of different temperatures and water vapour pressure deficits on photosynthesis and transpiration of cocoa leaves. In *Proceedings of the 10th International Cocoa Research Conference* (Vol. 1987, 211-214).

Samaniego, J., Alatorre, J. E., y Van der Borght, R. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza: el potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47676-soluciones-basadas-la-naturaleza-potencial-la-restauracion-conservacion-bosques>

Skirycz, A., e Inzé, D. (2010). More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion on Biotechnology*, 21, 197-203. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.03.002>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Sosa, E. P., y Ramírez, G. R. G. (2020). Posibles efectos del cambio climático en la región productora de cacao en Tabasco, México. Tlalli. *Revista de Investigación en Geografía*, 3, 39-67. <https://doi.org/10.22201/ffyl.26832275e.2020.3.1069>
- Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., y Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise do solo. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (2014). Clave para la Taxonomía de los Suelos. 12. Ed. Texcoco, México, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. 374 pp. (Traducido por Carlos Alberto Ortiz-Solorio, Ma. del Carmen Gutiérrez-Castorena y Edgar V. Gutiérrez-Castorena). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>
- Villalaz-Pérez, J. A., Villarreal-Núñez, J. E., Santo-Pineda, A., Gutiérrez, A., y Ramos-Zachrisson, I. A. (2021). Caracterización pedogenética de los suelos dedicados al cultivo de cacao, Almirante, Bocas del Toro, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (31), 37-58. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/299>
- Walkley, A., y Black, A. I. (1934). An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science.*, 37, 29-38.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFECTOS DE LA APLICACIÓN DE CADMIO AL SUELO EN PLANTAS DE CACAO DEL CLON AS-CP 2661¹

*Jhon Alexander Villalaz-Pérez²; José Ezequiel Villarreal-Núñez³;
Adolfo Santo-Pineda⁴; Abiel Gutiérrez-Lezcano⁵; Agustín Merino⁶*

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la absorción máxima de cadmio (Cd) en diferentes órganos de las plantas de cacao, así como determinar la bioacumulación y traslocación que presenta el clon AS-CP 26-61, al aplicar diferentes concentraciones de Cd en el suelo. Se utilizó un diseño completamente al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones. El suelo utilizado fue del distrito de Almirante, Bocas del Toro, extraído hasta una profundidad de 30 cm. Se trató con CdSO₄ diluido y aplicado en la superficie en dosis de 0 mg·kg⁻¹; 4 mg·kg⁻¹; 8 mg·kg⁻¹; 12 mg·kg⁻¹; 16 mg·kg⁻¹ y 20 mg·kg⁻¹. Pasados los seis meses, se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0 a 15 cm y 15 a 30 cm), así como de raíces, tallos y hojas, para determinar las concentraciones de Cd. Se analizaron los factores de bioacumulación y traslocación para conocer si el genotipo evaluado es hiperacumulador o exclusor de Cd. En los resultados se pudo comprobar que a medida que se incrementaba la dosis de Cd aplicado aumentó la concentración biodisponible en el suelo. Las hojas presentaron mayor concentración de Cd, seguido por las raíces y los tallos. El comportamiento de la planta de cacao con factores de bioacumulación del Cd mayor de 1 y de traslocación menor a 1, corresponden a una planta fitoacumuladora. Se concluye que el clon evaluado AS-CP-2661 no transfiere el metal de la raíz hacia el tallo y las hojas, en dosis aplicada en el suelo menores de 8 mg·kg⁻¹.

Palabras claves: Acumulación, disponibilidad, inceptisol, translocación, suelos ácidos.

¹Recepción: 17 de febrero de 2023. Aceptación: 03 de octubre de 2023. Proyecto de Investigación e Innovación para el cultivo de cacao en sistemas agroforestales en Bocas del Toro y Comarcas.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIA Divisa). e-mail: jvillalaz14@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5382-5549>

³IDIAP, CIA Divisa. e-mail: jevilla38@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1317-1960>

⁴IDIAP, CIA Divisa. e-mail: asantospineda@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9561-2103>

⁵IDIAP, CIA Bocas del Toro. e-mail: abiel.gutierrez@yahoo.es

⁶Universidad Santiago de Compostela. Lugo, España. Departamento de Edafología y Química Agrícola. e-mail: agustin.merino@usc.es; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3866-7006>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EFFECTS OF THE APPLICATION OF CADMIUM TO THE SOIL IN COCOA PLANTS OF THE CLONE AS-CP 2661

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate The maximum absorption of cadmium (Cd) in different organs of the cocoa plants was evaluated, as well as to determine the bioaccumulation and translocation presented by the clone AS-CP 26-61, when applying different concentrations of Cd in the soil. A completely randomized design was used, with six treatments and three repetitions. The soil used was from the Almirante district, Bocas del Toro, extracted to a depth of 30 cm. The soil was treated with diluted CdSO₄ and applied to the surface in doses of 0 mg·kg⁻¹; 4 mg·kg⁻¹; 8 mg·kg⁻¹; 12 mg·kg⁻¹; 16 mg·kg⁻¹ and 20 mg·kg⁻¹. After six months, soil samples were taken at two depths (0 to 15 cm and 15 to 30 cm), as well as roots, stems and leaves, to determine Cd concentrations. Bioaccumulation and translocation factors were analyzed to find out if the evaluated genotype is Cd hyperaccumulator or excluder. According to the results, it was possible to verify that as the doses of Cd applied doses increased, the concentrations of bioavailable Cd in the soil increased. The leaves presented the highest Cd concentration, followed by roots and stems. The cocoa plant behavior with Cd bioaccumulation factors greater than 1 and translocation factors less than 1, corresponds to a phytoaccumulator plant. It is concluded that the evaluated clone AS-CP-2661 does not transfer the metal from the root to the stem and leaves, in doses applied to the soil of less than 8 mg·kg⁻¹.

Keywords: Accumulation, availability, acid soils, inceptisol, translocation.

INTRODUCCIÓN

Importancia económica del cultivo de cacao

La planta de cacao, *Theobroma cacao* L., pertenece a la familia de las Malváceas, especie descrita por Linneo en el 1753 (Avendaño et al., 2013). La especie, originaria de la Amazonía, se cultiva en más de 50 países de regiones tropicales de cuatro continentes (África, América, Asia y Oceanía), 23 de ellos en América.

En todos estos países donde se cultiva el cacao, tiene gran importancia económica, social, ambiental y particularmente cultural, e impulsa las economías (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura/Organización Mundial de la Salud [FAO/OMG], 2014; Arvelo Sánchez et al., 2017). Es destacable que en muchas partes del



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

mundo es cultivado por pequeños agricultores, contribuyendo de esta manera al desarrollo rural (Lehmann et al., 2014). Siendo así, su producción representa una de las principales fuentes de ingreso para más de 50 millones de personas, contribuyendo al incremento del PIB de estos países (López, 2020).

La comercialización del grano de cacao es afectada por la presencia de concentraciones altas de metales pesados (entre ellos el Cd), lo que perjudica a los productores de países que cultivan el grano de cacao, entre estos Panamá. En general, los valores de contenido de Cd en los granos de cacao reportados a través de América Latina y el Caribe (ALC) y otras partes del mundo, superan las regulaciones presentadas en el reglamento de la Unión Europea (UE) aplicados en enero del 2019 por la cual afectará a los productores de cacao en la región (Meter et al., 2019; Engbersen et al., 2019).

Para lo antes expuesto, la UE 488/2014 (UE, 2014) incluye para niveles máximos de Cd los derivados del chocolate que se presentan a continuación: chocolate de leche con sólidos de cacao inferiores a 30% una concentración de Cd de $0,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; chocolate con sólidos de cacao inferiores al 50% y chocolates con leche con sólidos de cacao superiores o iguales al 30%, una concentración de Cd de $0,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Chocolates con sólidos de cacao superiores o iguales al 50%, $0,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; cacao en polvo un nivel de concentración de Cd de $0,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Existen muchos factores (p.ej., edafoclimáticos y fisiológicos) que influyen en la disponibilidad de los metales pesados, por la toxicidad de ellos que están clasificados químicamente en leves, medios y altamente toxico, entre estos últimos está Cd, Pb y Hg, por la cual no lo modifica ni el suelo ni la genética de la planta. De igual manera, estas propiedades pueden influir sobre el impacto ambiental que pueden tener los metales regulando su disponibilidad o manteniéndolos en la fase residual o unido a la materia orgánica, lo que hace reducir su impacto al tener menor posibilidad de ser absorbidos por la planta (Bravo et al., 2014; Casteblanco, 2018).

Entre las principales características que se relacionan con la movilidad y disponibilidad de los metales pesados en el suelo se encuentran el pH, la materia orgánica



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(MO), el contenido de arcilla, los óxidos, los carbonatos y el potencial redox (Alloway, 2013; Barraza et al., 2017; Argüello et al., 2019). Por otra parte, Alloway (2013) menciona que las concentraciones en el suelo de Cd de origen geológico no superan $1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ encontrando niveles de $16,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, que se asocian a procesos de meteorización y tipo de materia parental.

Se debe tomar en cuenta algunas herramientas que nos ayuden a conocer cuánto acumulan o translocan las concentraciones de Cd por la planta, es por eso que se consideraron dos factores principales: Factor de bioacumulación con siglas en inglés (FBC) y traslocación de la planta (FT).

Factor de bioacumulación y traslocación de la planta

La absorción de metales pesados por la planta puede depender de diversos factores tanto químicos como físicos (p.ej., textura superficial de la hoja, condiciones ambientales) que pueden llevar a una bioacumulación o traslocación del metal (Cd) dentro de la planta (Shahid et al., 2017) y el ingreso del Cd se puede dar por absorción foliar y/o radical (Song et al., 2020). Además de las propiedades del suelo mencionada, uno de los mayores problemas en la planta de cacao es su capacidad de fitoacumular el Cd (Antoine et al., 2017; AbuShady et al., 2017).

El factor de bioacumulación (FBC) se utiliza como indicador de la capacidad de captación que presenta una planta a un metal pesado (Cd) presente en el sistema (Sutlohmann et al., 2020). Si el FBC es mayor a 10 se considera potencialmente hiperacumuladora, si es mayor a 1 se considerada como acumuladora del Cd, en cambio si es menor a 1 este factor es considerado como exclusora (Verbruggen et al., 2009).

Por otro lado, el factor de traslocación (FT), es la capacidad de transportar los metales pesados desde las raíces hasta la parte aérea de la planta, pudiendo interpretarse si el factor FT si es mayor a 1 la planta de cacao presenta una gran capacidad para movilizar el Cd desde la raíz a la hoja o al tallo (Dinu et al., 2020).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El material genético mejorado que se utilizó en esta investigación es el codificado como colección Panamá (AS-CP 26-61) fino de aroma, que puede ser de gran interés para los productores de Panamá, por sus alto rendimiento y calidad (Gutiérrez, 2020). El genotipo mejorado, fue injertado sobre el patrón IMC-67 (peruano) resistente a muchas enfermedades (Hidalgo, 2014). Este genotipo mejorado (AS-CP 26-61) puede alcanzar una altura de 2,5 m, con ramas de color marrón, presenta hojas de 34,5 cm de largo de color verde claro con ausencia de antocianinas, la semilla húmeda expresa una coloración blanca y una pigmentación de color blanca para la flor. La semilla presenta una forma elíptica, mientras el fruto es rugoso, con pesos mayores a 627 g, encontrando más de 33 semillas por frutos (Gutiérrez, 2020).

Estudio similar al nuestro se realizó en Perú, por investigadores como Arévalo-Hernández et al. (2021) en donde se determinó las altas concentraciones de Cd en diferentes genotipos de plantas de cacao (ICT-1292, PH-17, CCN-51, ICS-39 y TSH-565). Del mismo modo, Arévalo-Gardini et al. (2017) investigaron la distribución y acumulación de metales pesados en hojas y granos de cacao concluyendo que las plantaciones con diversidad de clones de cacao muestran diferencias en la acumulación de Cd tanto en hojas como en granos.

Lo anteriormente expuesto sugiere que utilizar material de cacao genéticamente mejorado puede ser una estrategia para disminuir la concentración de Cd en la planta, derivando a la calidad del grano que puede ayudar a los pequeños productores a mejorar la economía en esa región de Bocas del Toro. Es por esto se propuso evaluar la bioacumulación y traslocación de la concentración de Cd en la planta de cacao del clon AS-CP 26-61, al aplicar diferentes concentraciones de Cd en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio del estudio

El ensayo de investigación fue realizado durante el año 2020 a 2021 en una casa de vegetación semi controlada, donde se utilizó un suelo proveniente de un área representativa cultivados con cacao del distrito de Almirante y cuyas características fisicoquímicas y materia orgánica (MO) se presentan en el Cuadro 1.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Características del suelo utilizado en las macetas o potes.

pH																Cd		Textura		
H ₂ O	N	MO	COS	C:N	P	ClCe	K	Ca	Mg	Al	Cu	Zn	Fe	Mn	total	bd	A	L	Arc	
-----%-----			Mg·kg ⁻¹				-----cmol (+) kg ⁻¹ -----				-----mg·kg ⁻¹ -----				----- %-----					
-----Profundidad (0-15 cm)-----																				
6,6	0,3	1,4	2,41	8,04	24	26	0,3	19	6	0	3	6	58	46	0,3	0,01	55	29	16	
-----Profundidad (15-30 cm)-----																				
6,6	0,4	1,4	2,41	6,03	24	25	0,3	19	6	0	3	6	58	48	0,1	0,01	53	30	17	

Parámetros evaluados en el suelo: pH (H₂O) relación 1:10

El suelo fue tratado con CdSO₄ diluyendo con agua tipo II y aplicando en la superficie las diferentes dosis (T1: 0 mg de Cd·kg⁻¹ de suelo; T2: 4 mg de Cd·kg⁻¹ de suelo; T3: 8 mg de Cd·kg⁻¹ de suelo; T4: 12 mg de Cd·kg⁻¹ de suelo; T5: 16 mg de Cd·kg⁻¹ de suelo; T6: 20 mg de Cd·kg⁻¹ de suelo).

Metodología de muestreo y preparación de muestras en el laboratorio

A los seis meses de aplicados cada tratamiento, se tomaron muestras de suelos a dos profundidades (0 a 15 cm y 15 a 30 cm). En ellas se eliminaron las raicillas, piedras o cualquier material que podía alterar los análisis. Las mismas fueron secadas al aire y trituradas en un mortero de ágata y pasadas a través de un tamiz de malla de nylon de diámetro de 2 mm. Este suelo fue utilizado para conocer los elementos biodisponibles e intercambiables sin incluir el Cd. Para este metal se tomó el suelo retenido en el tamiz de diámetro de 2 mm y separado en otra malla con diámetro de 0,063 mm tomando en cuenta la guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente (MINAM), 2014.

Para el muestreo de las hojas se utilizaron cinco hojas sanas de cada una de ellas próxima al ápice por cada tratamiento y repetición, utilizando metodologías de Puentes et al. (2016). Las hojas, tallos y raíces fueron lavadas con agua ultrapura (tipo II) y secadas en la estufa a 60° C durante 48 horas, para posterior determinar la concentración de Cd a cada parte de la planta.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Determinación de pH, materia orgánica, variables químicas y textura en el suelo

El pH se determinó por potenciometría con la relación 1:2,5 (suelo-agua) utilizando técnicas descritas por Teixeira et al. (2017). La MO se realizó mediante metodología del carbono del suelo a través del método propuesto por Walkley y Black (1934). El N total se realizó por digestión Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1983). Para la extracción de elementos biodisponibles (Cu, Fe, Zn, Mn, Cd) y los cationes como Ca, Mg y K se utilizó la solución extractora Mehlich 3, tomando una relación suelo-agua 1:10 (Mehlich, 1984). Fue cuantificada por espectrofotómetro de absorción atómica de fuente continua de alta resolución de técnicas por llama (FAAS). El Al intercambiable se extrajo con solución extractora KCl 1M, según Díaz-Romeu y Hunter (1978). La capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICe) se realizó mediante la sumatoria de bases Ca, Mg, K +Al. Por otro lado, el porcentaje de saturación de aluminio (Sat. Al %) se determinó mediante el cociente de $(Al\ (%)/CICe * 100)$. El análisis físico granulométrico de textura del suelo se determinó mediante la metodología de Bouyoucos (1962).

Las concentraciones totales de Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, K, Ca y Mg en suelo, hojas, frutos y granos de cacao se evaluaron por extracción asistida con microondas utilizando reactivos en concentraciones puras de HNO₃ y HCl en una relación 3:1 y posteriormente analizadas por espectrofotometría de absorción atómica de fuente continua de alta resolución de técnicas por llama, según metodologías EPA 3051A (United States Environmental Protection Agency [USEPA], 2007).

Para mantener una confiabilidad en los datos obtenidos en el análisis, se pudo determinar la exactitud y precisión (Cuadro 2) por medio de los límites de detección (LOD) y límites de cuantificación (LOQ) por cada elemento evaluados del equipo de absorción atómica de fuente continua.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 2. Límites de detección (LOD), cuantificación (LOQ) y R² ajustado del espectrofotómetro de absorción atómica del Laboratorio de fertilidad de suelos y agua del IDIAP de Divisa, distrito de Santa María, provincia de Herrera, República de Panamá.

N°	Elemento	Unidad	LOD	LOQ	R ² (ajustado)
1	Cu	mg·kg ⁻¹	0,031	0,093	0,999
2	Zn	mg·kg ⁻¹	0,001	0,002	0,996
3	Fe	mg·kg ⁻¹	0,007	0,022	0,994
4	Mn	mg·kg ⁻¹	0,003	0,008	0,984
5	Cd	mg·kg ⁻¹	0,001	0,002	0,999
6	K	cmol (+) kg ⁻¹	0,037	0,112	0,996
7	Ca	cmol (+) kg ⁻¹	0,004	0,012	0,969
8	Mg	cmol (+) kg ⁻¹	0,128	0,383	0,992

LOD: límite de detección; LOQ: límite de cuantificación.

El factor bioacumulador (BCF) se determinó como la relación de la concentración del Cd en la planta y la concentración del Cd biodisponible en el suelo (Sut-lohmann et al., 2020).

$$BCF = \frac{CC \text{ (elemento en la plana)}}{CC \text{ (elemento en el suelo)}}$$

Donde: BCF es el factor de bioacumulación; CC es la concentración del elemento (Cd) en la planta y en el suelo biodisponible (mg·kg⁻¹). Si FBC>10 indica que la planta es hiperacumuladora. Si FBC>1 se considera acumuladora, y si el factor FBC<1 se considera exclusora.

El factor de traslocación (TF) en la planta se determinó de la siguiente forma: El cociente de la concentración del metal (Cd) hoja o tallo (fuste) del árbol de cacao y la concentración del Cd de la raíz (Dinu et al., 2020).

$$BCF = \frac{CC \text{ (elemento en la plana)}}{CC \text{ (elemento en el suelo)}}$$

Donde: FT es el factor de traslocación; CC es el elemento (Cd) en las hojas, tallo y raíz en (mg·kg⁻¹). Si FT >1 indica que la planta presenta una gran capacidad para movilizar el Cd desde la raíz a la hoja o tallo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Análisis estadísticos

Para verificar las diferencias entre tratamientos, los datos fueron evaluados por análisis de varianza y las medias de sus tratamientos fueron comparadas por la prueba LSD Fisher $P < 0,05$ estadísticas descriptivas (medias, coeficientes de variación). Por otra parte, se realizaron correlaciones de Pearson en variables de suelo y partes de la planta (hojas, tallos y raíces), con el propósito de conocer el efecto del incremento de las dosis en estas variables.

Se realizaron gráficos de barras para el Cd extraído en suelo (Total y biodisponible) por cada profundidad y concentración de Cd en la planta (hojas, tallos y raíces). Los análisis fueron realizados usando el software InfoStat versión 2008 (Di Rienzo et al., 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de Cd total y biodisponible en el suelo

Las concentraciones totales y biodisponibles de Cd aumentan con las dosis crecientes de Cd aplicado al suelo (Figura 1). El nivel de Cd en el suelo sin tratar fue inferior al valor promedio de $0,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ para suelos agrícolas, señalado por Kabata-Pendias (2010) y de $0,43 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2002). Estudios realizados por Bowie y Thornton (1985) en suelos agrícolas, encontraron en suelos sin tratar concentraciones de Cd en el suelo de 1 a $2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

A pesar de que las aplicaciones de Cd fueron realizadas en la superficie, la capa más profunda de suelo mostró aumentos importantes. Las concentraciones de Cd biodisponibles siguieron una tendencia similar a la del Cd total.

El aumento del Cd total aplicado en la superficie pudo haber afectado en las capas más profundas debido a que el suelo utilizado mantuvo un bajo contenido de MO del suelo (1,4% Snoeck et al., 2016) lo cual pudo haber afectado la biodisponibilidad de la concentración del Cd, ya que la movilidad del metal pesado depende de varios factores p.ej., el pH y la MO del suelo; (Kabata – Pendias, 2004; Huertos y Baena, 2008; Kabata-Pendias, 2010; Rosas-Patiño et al., 2017).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El Cd está ligado estrechamente al contenido de la MO del suelo, la cual forma complejos organometálicos, inmovilizando la absorción de éstos por las plantas (Arévalo-Gardini et al., 2016).

En algunos países donde se realizaron estudios de Cd en el suelo, se pudo demostrar que niveles elevados de Cd que superan la concentración máxima adicionada en este estudio, pueden ser de origen antrópicas y otras naturales p.ej. Inglaterra y Gales 0,7-41 mg·kg⁻¹ (McGrath y Loverland, 1992); USA 0,16-41 mg·kg⁻¹ (Burt et al., 2003).

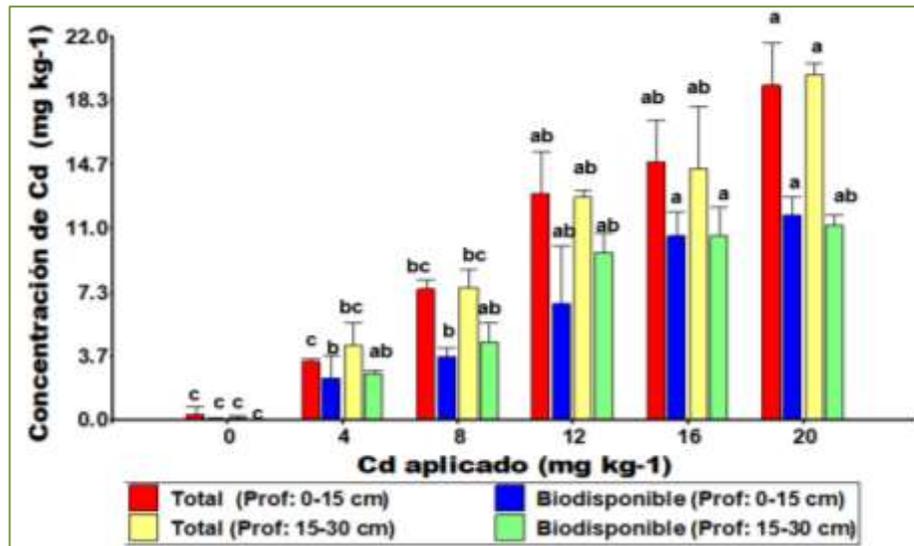


Figura 1. Concentraciones de Cd total y biodisponible en el suelo determinadas a dos profundidades del suelo (0 a 15 cm y 15 a 30 cm) con incrementos de dosis de Cd aplicadas al suelo.

Niveles de concentraciones de Cd en hojas, tallos y raíces de cacao

A pesar de que el Cd no es un elemento esencial para la planta, este estudio ayuda a comprender la importancia que tiene este metal en la absorción y acumulación en las partes de la planta (hojas, tallos y raíces de cacao).

Las concentraciones de Cd en las partes de la planta en estudio aumentaron a medida que se incrementaban las dosis aplicadas en hojas>raíces<tallos. Las máximas concentraciones en hojas, raíces y tallo fueron en torno a 12, 9 y 6 mg·kg⁻¹, respectivamente, en dosis aplicada de Cd en el suelo de 16 mg·kg⁻¹ (Figura 2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Otro estudio señala que la mayor concentración de Cd total lo tiene las raíces>tallos>hojas (Llatance et al., 2018). Estudios realizados por Torres y Otiniano, (2021) en cinco diferentes genotipos de cacao informaron que la mayor acumulación de Cd lo presentaron las raíces de cacao.

El Cd y el Zn son algunos de los elementos que las plantas absorben en mayor cantidad a través de las hojas por ser metales muy móviles en el suelo (Intawongse y Dean, 2006). Algunos autores, como Engbersen et al. (2019), demostraron que el orden de absorción del Cd varía con el genotipo cultivado. Esto mismo fue divulgado por Song et al. (2020), quienes mencionan que la menor o mayor concentración de Cd en la planta de cacao, está influenciado por el material genético utilizado. Por esta razón, se debe tomar en cuenta el portainjerto para los estudios, ya que juegan un factor muy importante en la absorción de los metales pesados (Albacete et al., 2015; Lewis et al., 2018) aunque hace falta realizar comparaciones con otros tipos de clones de cacao.

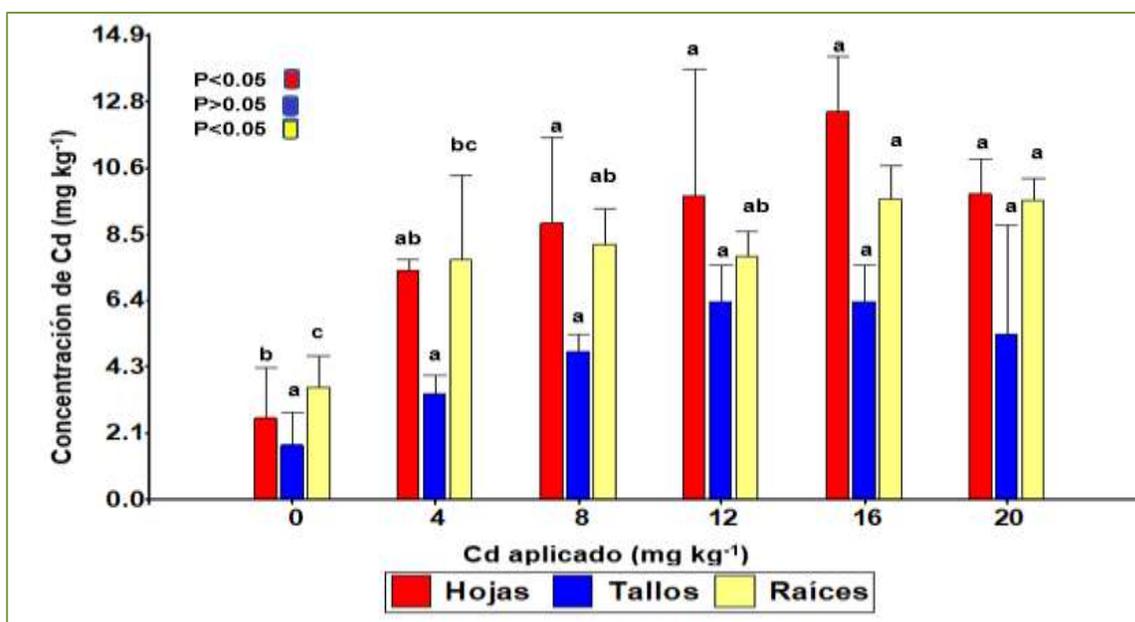


Figura 2. Niveles de concentración de Cd en hojas, tallos y raíces de cacao del genotipo AS-CP-2661 al incrementar dosis de Cd aplicadas al suelo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Factor de bioacumulación y traslocación de la planta

El factor de bioacumulación (FBC) y factor de traslocación (FT) son indicadores críticos para evaluar la capacidad de una planta para acumular metales (Yazdanbakhsh et al., 2020).

En ambas profundidades estudiadas, el FBC llega a decrecer a medida que aumentan las dosis aplicadas en el suelo, manteniendo una tendencia cuando sobrepasa la dosis de Cd de 8 mg·kg⁻¹. Esto pudo deberse al proceso de hormésis (refiriéndose al proceso en que la exposición a una dosis baja de un agente químico que es dañino en una concentración más altas induce un beneficio sobre la célula o el organismo; Calabrese et al., 2007). Este factor de traslocación (FT) presentó valores muy interesantes ya que, al aumentar las dosis de Cd aplicadas al suelo, el FT en las hojas se incrementó hasta llegar a la dosis de 12 mg·kg⁻¹. Mientras que, en los tallos se incrementó a medida que se aumentaba la dosis de Cd aplicada al suelo (Cuadro 3).

Tomando la dosis aplicada de Cd 12 mg·kg⁻¹ en ambas profundidades y los factores evaluados, podemos interpretar que el FBC es mayor a 1 y el FT es menor a 1. Este genotipo evaluado se comporta como una planta fitoacumuladora o fitoextractora (Baker, 1981; Clemente Huachen et al., 2021) y no transfiere la concentración de Cd absorbido en las raíces hacia su parte aérea (Alvarado et al., 2011).

Cuadro 3. Factores de bioacumulación (FBC) y traslocación (FT) de la planta total de cacao y partes de ella (hojas y tallos) aplicado al genotipo mejorado AS-CP-2661.

Dosis Aplicadas	FBC		FT	
	Planta Total	Planta Total	Hojas	Tallos
PROFUNDIDAD				
mg·kg⁻¹	0-15	15-30	FACTORES	
4	7	9	0,70	0,51
8	5	4	1,03	0,61
12	3	3	1,68	0,84
16	3	3	1,48	1,14
20	3	3	1,18	1,75



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONCLUSIONES

- Al aplicar dosis crecientes de Cd en el suelo, ayudó a comprobar la movilidad del metal pesado desde la dosis baja a la más alta.
- La mayor acumulación de Cd que obtuvo la planta de cacao la presentó en las hojas, seguido de las raíces y tallos.
- Tomando como referencia el factor de bioacumulador en la planta (mayor a 1), el Clon mejorado AS-CP 2661 se considera como una planta fitoacumuladora o fitoextractora, absorbiendo el contaminante (Cd) por las raíces, pero no logra movilizarlo hacia el tallo y hojas ya que el factor de transferencia o traslocación es menor a 1.
- Altos contenidos de Cd en el suelo (mayores de $12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) pueden provocar la alta transferencia del metal hacia las partes aéreas de la planta (hojas y tallos).
- Se debe realizar ensayos similares, utilizando otros tipos de genotipos mejorados y evaluando otros patrones de injertos para conocer si aumentando las dosis de concentraciones del Cd u otro metal pesado puede afectar el comportamiento de absorción de la planta.

REFERENCIAS

- AbuShady, M., Fathy, H., Fathy, G., A., Abd El Fatah, S., Ali, A., y Abbas, M. (2017). "Blood lead levels in a group of children: the potential risk factors and health problems." *Journal de Pediatria*, 93(6), 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2016.12.006>
- Albacete, A., Martínez-Andújar, C., Martínez-Pérez, A., Thompson, A. J., Dodd, I. C., y Pérez-Alfocea, F. (2015). Unravelling rootstock x scion interactions to improve food security. *Journal of experimental botany*, 66(8), 2211-2226. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv027>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Alvarado, C. J., Dasgupta-Schubert, N., Ambriz, E., Sánchez-Yañez, J. M., y Villegas, J. (2011). Hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(4), 357-364.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000400008

Alloway, B. J. (2013). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils*. Springer Netherlands. pp.11-50. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2

Antoine, J., Hoo Fung, L., y Grant, CH. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports*, 4, 181–187.

<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006>

Argüello, D., Chávez, E., Lauryssen, F., Vanderschueren, R., Smolders, E., y Montalvo, D. (2019). Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: a nationwide survey in Ecuador. *Sci Total Environ*, 649, 120–127.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>

Arévalo-Hernández, C. O., Arévalo-Gardini, E., Barraza, F., Farfán, A., He, Z., y Baligar, V. C. (2021). Growth and nutritional responses of wild and domesticated cacao genotypes to soil Cd stress. *Science of the Total Environment*, 763, 144021.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144021>

Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V. C., y He, Z. L. (2017). Heavy metal accumulation in leaves and beans of cacao (*Theobroma cacao* L.) in major cacao growing regions in Peru. *Science of the Total Environment*, 605, 792-800.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.122>

Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., y He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología aplicada*, 15(2), 81-89.
<http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.747>

Arvelo Sánchez, M. A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., y Montoya Rodríguez, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericano de Cooperación para la Agricultura*. San José, C.R.: IICA. 165 p.
<https://pdfslide.net/documents/manual-tecnico-del-cultivo-de-cacao-practicas-latinoa-manual-tecnico-del.html>

Avendaño, A. C. H., Mendoza, L. A, Hernández, G. E., López, G. G., Martínez, B. M., Caballero, P. J. F., Guillen, D. S., y Espinosa, Z. S. (2013). Mejoramiento genético participativo en cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agro productividad*, 6(5), 71-80.
<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/487>

Barraza, F., Schreck, E., Lévêque, T., Uzu, G., López, F., Ruales, J., Prunier, J., Marquet, A., y Maurice, L. (2017). Cadmium bioaccumulation and gastric bioaccessibility in cacao: a field study in areas impacted by oil activities in Ecuador. *Environ Pollut* 29, 950-963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.080>

Baker, J. M. (1981). Accumulators and Excluders Strategies in Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*. *Journal of Plant Nutrition*, 3, 643-654.
<https://doi.org/10.1080/01904168109362867>.

Bowie, S. H. U., y Thornton, I. (1985). *Environmental geochemistry and health*. D. Reidel Publishing Company, Lancaster, PA.

Bravo, I. D. S. B., Arboleda, C. A. A., y Peinado, F. J. M. (2014). Efecto de la Calidad de la Materia Orgánica asociada con el Uso y Manejo de Suelos en la Retención de Cadmio en Sistemas Altoandinos de Colombia. *Acta Agronómica*, 63(2), 164-174.
<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v63n2.39569>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Bremner, J. M., y Mulvaney, C. S. (1983). Nitrogen total. In: Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds). *Methods of Soil Analysis. Part II. American Society of Agronomy. No 9 in Agronomy Series. Madison, Wisconsin. USA. pp. 595-624.* <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31>

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analysis of Soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

Burt, R., Wilson, M. A., Keck, T. J., Dougherty, B. D., Strom, D. E. y Lindahl, J. A. (2003). Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Advances in Environmental Research*, 8, 51-67.

Calabrese, E. J., Bachmann, K. A., Bailer, A. J., Bolger, P. M., Borak, J., Cai, L., Cedergreen, N., Cherian, M. G., Chiueh, Ch. C., Clarkson, T. W., Cook, R. R., Diamond, D. M., Doolittle, D. J., Dorato, M. A., Duke, S. O., Feinendegen, L., Gardner, D. E., Hart, R. W., Hastings, K. L., Hayes, A. W., y Mattson, M. P. (2007). Biological stress response terminology: integrating the concepts of adaptive response and preconditioning stress within a hormetic dose–response framework. *Toxicology and applied pharmacology*, 222(1), 122-128.

Castebianco, J. (2018). «Heavy metals remediation with potential application in cocoa cultivation». En: *La Granja* 27.1, 21-35. <https://bit.ly/33ffMhn>

Clemente Huachen, J. P., Medina Contreras, J., Pfuño, J. D. L., Pariona Aguilar, L. A., y Gutiérrez Vélchez, P. P. (2021). Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). *Acta Agronómica*, 70(2), 163-170. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.94208>

Díaz-Romeu, R., y Hunter, A. (1978). Metodologías de Muestreo de suelos. Análisis químico de suelos y tejido vegetal y de Investigaciones en invernadero. Turrialba, Costa Rica. C.R. pp.70. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A4008e/A4008e.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Dinu, C., Vasile, G. G., Buleandra, M., Popa, D. E., Gheorghe, S., y Ungureanu, E. M. (2020). Translocation and accumulation of heavy metals in *Ocimum basilicum* L. plants grown in mining-contaminated soil. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 2141-2154. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02550-w>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini – Italy, M. G., González, L., Tablada, M., Robledo, C. W. (2015). InfoStat Version (2008). Transfer Center InoStat, FCA, National University of Cordoba, Argentina.
- Engbersen, N., Gramlich, A., Lopez, M., Schwarz, G., Hattendorf, B., Gutierrez, O., y Schulin, R. (2019). Cadmium accumulation and allocation in different cacao cultivars. *Science of The Total Environment*, 678, 660-670. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.001>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Organización Mundial de la Salud. (2014). *Comisión del Código Alimentarius*. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias CX/CF 15/9/6. diciembre de 2014. ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/cccf/cccf9/cf09_06s.pdf
- Gutiérrez, A. (2020). Caracterización Morfológica de tres genotipos criollos promisorios de *Theobroma cacao* L. *Ciencia Agropecuaria*, (30),150-169. <http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/134/98>
- Hidalgo, N. (2014). Algunos métodos de propagación del cultivo de cacao *Theobroma cacao* L. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Regional Brunca. INFOAGRO.
- Huertos, E. G., y Baena, A. R. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *MACLA, revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (10), 48-60.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Intawongse, M., y Dean, J. R. (2006). Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. *Food Additives and Contaminants*, 23(1), 36-46.
<https://doi.org/10.1080/02652030500387554>

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants (4th ed.). Taylor and Francis Group. CRC Press. Michigan, USA. 505 p.

Kabata-Pendias, A. (2004). Soil-plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*, 122(2), 143-149.

Lehmann, J., Coumou, D., Frieler, K., Eliseev, A. V. y Levermann, A. (2014). Cambios futuros en las trayectorias de tormentas extra tropicales y baroclinicidad bajo el cambio climático. *Cartas de investigación ambiental*, 9 (8), 084002.
<http://stacks.iop.org/ERL/9/084002/mmedia>

Lewis, C., Lennon, A. M., Eudoxie, G., y Umaharan, P. (2018). Genetic variation in bioaccumulation and partitioning of cadmium in *Theobroma cacao* L. *Science of the Total Environment*, (640-641), 696–703.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.365>

Llatance, W. O., Gonza, C. J., Guzmán, W., y Pariente, E. (2018). Bioacumulación de cadmio en el cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Comunidad Nativa de Pakun, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 33(1), 63-75. <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i1.1156>

López, Y., Cunias, M., y Carrasco, Y. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2218-36202020000300344

McGrath, S. P., y Loveland, P. J. (1992). *The Soil Geochemical Atlas of England and Wales*. Blackie Academic and Professional.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Meter, A., Atkinson, R. J., y Laliberte, B. (2019). *Cadmium in Cocoa from Latin America and the Caribbean – Analysis of research and potential solutions for mitigation*. Bioersivity International, Rome.

https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1505/Cadmio_en_el_cacao_de_America_Latina_y_el_Caribe.pdf

Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in soil science and plant analysis*, 15(12), 1409-1416.

<https://doi.org/10.1080/00103628409367568>

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para Muestreo de Suelos*. En el marco del Decreto Supremo No 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

Puentes, P. Y. J., Menjivar, J. C., y Aranzazu, F. (2016). Concentration of nutrients in leaves, a tool for nutritional diagnosis in cocoa. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329-336.

Rosas-Patiño, G., Puentes-Páramo, Y.J., y Menjívar Flores, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541.

https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., y Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of hazardous materials*, 325, 36-58.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.063>

Snoeck, D., Koko, L., Joffre, J, Bastide, P., y Jagoret, P. (2016). Cacao nutrition and fertilization. In: Lichtfouse (ed) *Sustainable agriculture reviews*. Springer International Publishing, Switzerland 19, 155–202. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_4



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Song, Y., Jin, L., y Wang, X. (2020). Cadmium absorption and transportation pathways in plants. *International journal of phytoremediation*, 19(2), 133-141.
<https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1207598>

Sut-Lohmann, M., Jonczak, J., y Raab, T. (2020). Phyto filtration of chosen metals by aquarium liverwort (*Monosoleum tenerum*). *Ecotoxicology and environmental safety*, 188, 109844. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109844>

Teixeira, P. C., Donagemma, G. K., Fontana, A., y Teixeira, W. G. (2017). Manual de métodos de análise do solo. 3.ed. rev. e ampl. Brasilia, DF: Embrapa, 573 p.
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209>

Torres, C. P., y Otiniano, A. J. (2021). Innovación tecnológica en cacao andino Producto 4. Informe sobre absorción de cadmio y manejo agronómico y su validación en vivero.

Unión Europea. (2014). Reglamento (CE) No 488/2014, que modifica el Reglamento (CE) 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de cadmio en los productos alimenticios. Reglamento de la Comunidad Europea, Bélgica, 138/78.
<https://www.boe.es/doue/2014/138/L00075-00079.pdf>

United States Environmental Protection Agency. (2002). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) Orientación complementaria para desarrollar niveles de detección de suelos para sitios de superfondos.

United States Environmental Protection Agency. (2007). Method 3051A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Oils. Revision 1. Washington, DC.

Verbruggen, N., Hermans, C., y Schat, H. (2009). Mechanisms to cope with excess arsenic or cadmium in plants. *Current opinion in plant biology*, 12(3), 364-372.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.001>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Yazdanbakhsh, A., Alavi, S. N., Valadabadi, S. A., Karimi, F., y Karimi, Z. (2020). Heavy metals uptake of salty soils by ornamental sunflower, using cow manure and biosolids: A case study in Alborz city, Iran. *Air, Soil and Water Research*, 13, 1178622119898460. <https://doi.org/10.1177/117862211989>

Walkley, A., y Black, A. I. (1934). An examination of the method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.

https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/1934SoilS..37...29W/doi:10.1097/00010694-193401000-00003



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

PLANTAS HOSPEDANTES DEL PICUDO DEL FRUTO DEL PIFÁ (*Palmelampus heinrichi* O'Brien) EN TOABRÉ, PANAMÁ¹

Randy Atencio-Valdespino²; Melvin Jaén³; Vidal Aguilera-Cogley⁴; Rafael Rincón⁵

RESUMEN

El pifá, pixbae o pibá cuyo nombre científico es *Bactris gasipaes* Kunth (Arecaceae) es una especie vegetal originaria de América del Sur y América Central, de la cual se ha visto reducida su producción de frutos por daños ocasionados por el picudo del fruto *Palmelampus heinrichi* O'Brien (Coleoptera: Curculionidae). En Panamá se carece de información sobre la existencia de otras plantas hospedantes del picudo del fruto además del pifá. El objetivo de este estudio fue identificar las plantas hospedantes del picudo del fruto del pifá en Toabré, Panamá. El estudio fue realizado durante 10 meses, con muestreos quincenales, dentro de la localidad de Toabré en la provincia de Coclé. Se establecieron 10 estaciones de 100 m² separadas a 100 m de distancia una de la otra, donde fueron seleccionadas las principales especies de plantas presentes, además del pifá, para obtener información de las variables asociadas a inflorescencia y frutos caídos con especímenes del picudo. Los resultados indicaron la existencia de 25 especies de plantas dentro de los medios agroecológicos donde se desarrolla el picudo del fruto del pifá, destacando la presencia dentro de la superficie muestreada de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) (21,84%), pifá (12,07%) y clavel de aire (*Tillandsia elongata* Kunth) (8,05%), entre el total de especies de plantas encontradas. Dentro de las especies muestreadas el picudo del fruto del pifá solo fue encontrado en plantas de pifá, que para los efectos se puede considerar su principal y único hospedante en condiciones evaluadas.

Palabras claves: Curculionidae, inflorescencia, muestreo, plaga, pixbae.

¹Recepción: 07 de noviembre. Aceptación: 29 de mayo de 2023. Estudio realizado dentro del Proyecto de recursos genéticos de alta calidad sanitaria, como alternativa para el desarrollo sostenible de la fruticultura.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIA Divisa). Entomólogo. e-mail: randy.atencio@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8325-9573>

³IDIAP, Campo Experimental Río Hato Sur. Gerente de Proyecto de identificación y manejo de agentes bióticos causantes de problemas sanitarios emergentes en el marañón. e-mail: mjaen_31@yahoo.es

⁴IDIAP, CIA Divisa. Laboratorio de Protección Vegetal. Micología. e-mail: vidalaguilera@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7647-3208>

⁵Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI). Director del Herbario UCH. Profesor Titular de la Escuela de Biología. rafael.rincon@unachi.ac.pa



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

HOST PLANTS OF THE PEACH PALM FRUIT WEEVIL (*Palmelampus heinrichi* O'Brien) IN TOABRÉ, PANAMA

ABSTRACT

Peach palm, whose scientific name is *Bactris gasipaes* Kunth (Arecaceae), is a plant species native to South America and Central America, whose fruit production has been reduced due to damage caused by the fruit weevil *Palmelampus heinrichi* O'Brien (Coleoptera: Curculionidae). In Panama, there is no evidence about the existence other host plants besides the peach palm. The aim of this study was to identify the host plants of the peach palm fruit weevil in Toabré, Panama. The study was carried out for 10 months, with sampling every two weeks, in the town of Toabré in the Coclé province. In 10 stations of 100 m² separated 100 meters away from each other, the main plants species present were selected, in addition to peach palm, to get information about the variables associated with inflorescence and fallen fruits with weevil specimens. The results indicated the existence of 25 plants species within the agroecological environments where the peach palm fruit weevil develops, highlighting the presence of robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) (21.84%), peach palm (12.07%) and air plant carnation (*Tillandsia elongata* Kunth) (8.05%), among the total plant species found. Among the sampled species, the peach palm fruit weevil was only found in *B. gasipaes*, which for the purposes of this study can be considered its main and only host under the evaluated conditions.

Keywords: Curculionidae, inflorescence, pest, pixbae, sampling.

INTRODUCCIÓN

El pifá, pixbae o pibá cuyo nombre científico es *Bactris gasipaes* Kunth (Arecaceae) es originaria de América del Sur y América Central, presenta diversas variedades caracterizadas según el color del fruto en amarillo, naranja, rojo y púrpura (Instituto de Mercadeo Agropecuario [IMA], 2021).

Es un cultivo que tiene un estimado de 25 años productivos, iniciando las primeras cosechas entre 3 y 6 años posterior a la siembra, floreciendo y fructificando durante el año para el caso de la obtención de frutos; considerando de igual manera que para la producción de palmitos se requiere la extracción del tronco 12 meses después de la siembra (IMA, 2021).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Una de las ventajas del cultivo de pifá es la facilidad con que se puede asociar con diversas plantas cultivadas dentro de la familia Musaceae (buchu - *Musa acuminata* Colla y plátano - *Musa paradisiaca* L.) (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá [IDIAP], 2018), con un pobre manejo agronómico en las áreas de producción y pertenecientes a productores con pequeñas superficies que pueden variar en promedio a superficies cercanas a una hectárea (Collantes G, 2022). Durante los últimos años en Panamá se ha registrado un incremento de los problemas fitosanitarios por plagas insectiles y enfermedades del pifá (Machuca, 2017; Atencio et al., 2021; Collantes G, 2022).

Reportes previos del IDIAP (2019) indican que dentro del complejo de plagas insectiles asociadas a frutos del pifá en Panamá se reportan las especies *Parisoschoenus expositus* (Champion) y *Palmelampus heinrichi* O'Brien (Coleoptera: Curculionidae), que incluyen como característica del daño la caída prematura de las flores, perforaciones múltiples en los frutos y caída de estos, causando pérdidas importantes en la producción en Panamá.

En Panamá diversas cifras asocian a *P. heinrichi* con la reducción de hasta 75% de la producción nacional de todas las variedades presentes de pifá, reportado inicialmente en la provincia de Bocas del Toro y posteriormente también en la provincia de Coclé, considerando que había ocasionado la reducción de la producción del fruto por los ataques sobre los racimos durante los meses de agosto a octubre, que es tradicionalmente la época de mayor producción de pifá (Machuca, 2017; Atencio et al., 2021; Rodríguez, 2021).

La reducción de la producción de frutos originó el establecimiento de estudios de las interrelaciones de los insectos-plagas con otras especies vegetales del agroecosistema (cacao - *Theobroma cacao* L., Malvales: Malvaceae, musáceas - Zingiberales: Musaceae y maderables - Diversas familias) y la implementación de estrategias y acciones que conllevarán al manejo agroecológico de las plagas del pifá como etapa inicial (IDIAP, 2019).

Dentro de los elementos establecidos para el manejo del picudo del pifá en Panamá se incluye el uso de embolsado como la principal medida para el manejo de este, constituyendo previo al presente estudio el pifá el único hospedero reportado de *P. heinrichi*



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(Atencio et al., 2021). Estudiar las potenciales plantas hospederas del picudo del pifá se fundamenta en el hecho que las mismas tienen un papel directo sobre la dinámica poblacional de insectos asociadas a las mismas, sobre todo en determinados períodos de desarrollo de la planta como el caso de la floración e inicio de fructificación que son considerados períodos críticos de las plantas (Antonino et al., 1996).

Afondar en el sincronismo del ciclo del insecto y la sucesión estacional de plantas hospederas es un conocimiento que permite desarrollar adecuadas estrategias de manejo a través de estudios relacionados con las interacciones cultivo-hospederas alternativas-fitófago (Antonino et al., 1996).

Los insectos pueden percibir señales de tipo ópticas, olfatorias, gustativas y táctiles asociadas a respuestas de las plantas hospederas tales como tamaño, forma, olor, color, sabor, textura del órgano atacado, arreglo de la siembra y densidad de la siembra, así como los colores en la parcela, tamaño y forma de la parcela de las plantas hospederas (Jiménez, 2009).

Los elementos antes expuestos están asociados al nicho ecológico de un organismo fitófago considerando como localización física del organismo, la planta de pifá en este caso, así como otras plantas con potencial de hospedar a *P. heinrichi* dentro del entorno de las plantas de pifá, relación que es clave en el manejo de las interacciones complejas dentro de un agroecosistema con diversos nichos ecológicos en un mismo hábitat (Gliessman, 2002). Un organismo fitófago aprovecha los contenidos nutricionales dentro de la estructura de las plantas hospederas, como el caso del fruto de pifá que contiene complejos contenidos nutricionales que pueden ser aprovechados por diversos insectos fitófagos (Restrepo y Estupiñan, 2007; Martínez, 2011).

En Panamá se desconoce si existen otras plantas hospederas alternativas del picudo del pifá, dentro del entorno agroecológico donde se desarrollan las plantas de pifá, por tanto, el objetivo de este estudio fue identificar plantas hospederas alternativas del picudo del fruto del pifá además del pifá en Toabré, Panamá.



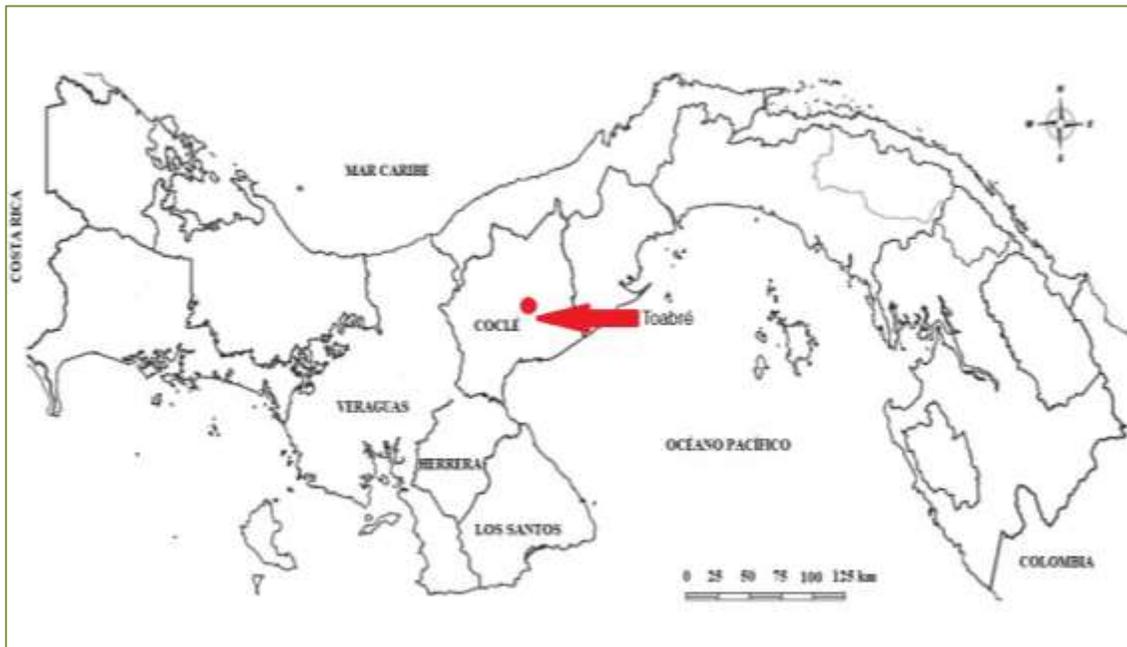
Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La actividad de investigación se realizó dentro de una superficie estimada de 4 ha con un sistema agroecológico mezclado de plantas asociadas al cultivo de pifá en la localidad de Toabré en la provincia de Coclé. La finca se seleccionó considerando elementos básicos asociados a la logística de acceso, movilización dentro de la finca y disponibilidad de parcelas con plantas de pifá.

Se realizó un estudio exploratorio de las plantas asociadas al cultivo de pifá dentro de agroecosistemas de producción en búsqueda de plantas con el potencial de ser plantas hospederas del picudo del pifá durante 10 meses del año, que incluyó el período seco y parte del período lluvioso del año, realizando las observaciones quincenalmente. La localidad de Toabré (8°42'01.0"N 80°17'28.8"W) (Figura 1) se ubica dentro del Bosque Seco Tropical según las Zonas de Vida de Holdridge (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2003).



Fuente: Herrera et al., 2022.

Figura 1. Localidad del estudio en Coclé, Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Para este estudio exploratorio se seleccionaron 10 estaciones de manera sistemática dentro de la superficie del área del estudio. Cada estación tuvo un perímetro 10 m x 10 m (100 m²), separadas a 100 m de distancia una de la otra. Estas estaciones tuvieron como premisa al menos la presencia de una palma de pifá.

Dentro de cada estación se procedió a identificar las plantas con mayor potencial para ser hospederas de picudo del pifá, que incluyó el pifá; para ello se consideró constancia de la presencia de la planta, presencia de inflorescencia y cercanía a las plantas de pifá dentro de la estación.

Variables evaluadas dentro de las plantas seleccionadas

Dentro de las variables evaluadas en las plantas seleccionadas en las estaciones se incluyó verificar la presencia de picudos del pifá (*P. heinrichi*) dentro de las inflorescencias de las plantas seleccionadas (de tenerlas) y de frutos caídos en un radio de 3 m de la base del tallo de las plantas seleccionadas, adaptando la metodología de Núñez Avellaneda (2014) y De La Pava et al. (2020).

Los materiales vegetales y entomológicos colectados fueron llevados al Laboratorio de Protección Vegetal (LPV) del Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIAD) del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Para el caso de las inflorescencias de las plantas seleccionadas, se procedió a tomar una inflorescencia completa dentro de una bolsa plástica con capacidad de un galón con cierre mágico debidamente identificada, para posteriormente revisarlas de manera directa para verificar la presencia y el número de picudos.

Los frutos de estas plantas encontrados en suelos fueron colocados dentro de envases plásticos de tipo pote tapa cúpula de 9 onzas con tapa (Figura 2) con suelo esterilizado hasta llenar 3 cm del envase, donde fueron colocados en grupos dos frutos por envases, que fueron observados por especie por un período no mayor de tres semanas, para contar los adultos de picudos que hayan emergido.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 2. Envases utilizados durante el estudio en Coclé, Panamá.

Identificación de las plantas seleccionadas

En las estaciones de muestreo donde fue requerido se procedió a tomar muestras de plantas por triplicado para procesar y herborizar mediante la metodología planteada por Lot y Chiang (1986); Ávila-Sánchez et al. (2018) y se utilizó el procedimiento para la identificación Taxonómica de Especies Vegetales de la Universidad Tecnológica de Panamá (Universidad Tecnológica de Panamá [UTP], 2011). La identificación de las especies de las plantas se realizó con claves taxonómicas virtuales e impresas disponibles que incluyó las publicaciones de Souza y Lorenzi (2010); Orellano Polanco (2014); Pérez y Condit (2021). En los casos donde los materiales vegetales colectados para identificación requirieron una consulta taxonómica muchos más elaborada las muestras fueron llevadas a revisión y consulta a la colección de plantas del Herbario de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI).

Metodología para el análisis de los datos

Los datos obtenidos de las variables de inflorescencias, frutos caídos y especímenes de picudo del fruto encontrados por planta fueron analizados porcentualmente.

Para describir la diversidad de la vegetación seleccionada dos variables fueron calculadas: la densidad relativa de especies (DRE) y la riqueza de especies vegetales (REV) modificando la metodología de Capitanio y Carcaillet (2008) y Zarco-Espinosa et al. (2010) se calcularon de la siguiente manera:



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DRE = Densidad absoluta por cada especie/densidad absoluta de todas las especies * 100

REV= Se calculó mediante el Índice de Margalef (1977) utilizando la siguiente formula:

$$D \alpha = S-1 / \log N,$$

Donde,

S= Número de especies, N= número total de individuos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los muestreos fueron identificadas 25 especies de plantas, incluyendo las plantas de pifá, considerando el conjunto del agroecosistema donde se pueden desarrollar los diferentes estadios de la especie *P. heinrichi* (Cuadro 1).

De un total de 174 plantas que fueron muestreadas durante el estudio, las especies más predominantes fueron el café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) (38; 21,84%) (Figura 3), el pifá (21; 21,07%) (Figura 4) y el clavel de aire (*Tillandsia elongata* Kunth) (14; 8,05%) (Figura 5), que para el presente estudio fue equivalente a la densidad relativa de las especies.

Fueron revisadas 2 186 inflorescencias, siendo las más encontradas las flores de café robusta (1 800; 82,34%), pifá (63; 2,88%) y heliconia (*Heliconia hirsuta* L.) (51; 2,33%) (Figura 6).

Se revisaron 1 163 frutos colectados en el suelo (considerando la biología del insecto de continuar su estadio larvario y pupal cerca de la superficie del suelo) de plantas revisadas, de los cuales los frutos en el suelo más predominantes fueron el café robusta (500; 42,99%), el pifá (353; 30,35%) y la palma manila (*Adonidia merrillii* (Becc.) Becc) (190; 16,34%) (Figura 7).

Durante el estudio fueron identificados 100 especímenes de *P. heinrichi*, solo en muestras de pifá, ninguna de las otras especies de plantas encontradas presento la presencia de estadios en desarrollo o adultos del picudo del fruto del pifá, a una proporción de 50% en frutos caídos colectados y 50% en la inflorescencia.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La riqueza de especies vegetales (REV) que se calculó mediante el Índice de Margalef dio como resultado 10,71 que es un indicativo de alta biodiversidad en el agroecosistema donde se desarrollan las plantas de pifá.

Los resultados indican que la especie *P. heinrichi* tiene comportamiento similar a otras especies fitófagas con un determinado grado de especificidad hacia un cultivo donde ocasionan un daño de importancia económica como ocurre con la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae) que vive dentro de los granos de café (*Coffea* spp. [Gentianales: Rubiaceae]) (Molina, 2022).

La especie *P. heinrichi* aprovecha los contenidos nutricionales del fruto de pifá que incluyen complejos balanceados de carbohidratos, proteína, fibra, aceite, minerales, carotenos y vitaminas (Restrepo y Estupiñan, 2007; Martínez, 2011).

La diversidad de nutrientes que disponen las estructuras de las plantas de pifá constituyen una fuente de nutrientes aprovechada por diversos insectos que incluyen taladradores del tallo como *Metamasius hemipterus* L. (Coleoptera: Curculionidae) y *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae); defoliadores como *Conocephalus* sp. (Orthoptera: Tettigoniidae), *Neoconocephalus* sp. (Orthoptera: Tettigoniidae), *Schistocerca nitens* Thunberg (Orthoptera: Acrididae) y *Saliana severus* (Mabille) (Lepidoptera: Hesperidae); raspadores de follaje *Demotispa pallida* Baly (Coleoptera: Chrysomelidae) y *Cephaloleia* sp. (Coleoptera: Chrysomelidae); y del fruto *P. heinrichi* (Arroyo et al., 2004).

Otro de los elementos que caracteriza a las plantas hospederas además de proveer nutrientes es que los adultos de picudos de la familia Curculionidae son atraídos por sustancias volátiles emanadas por las estructuras de la planta hospedera, como el fruto y el tallo (Gold y Messiaen, 2000). De acuerdo con estudios realizados en Colombia por Quintero-Angulo y Pardo-Locarno (2017), la producción de aromas que emiten las inflorescencias del pifá, al momento de la apertura de la bráctea, está asociada a la presencia y atracción de insectos polinizadores. Entre los insectos reportados en estos estudios están los escarabajos de la especie *Cyclocephala amazona* Latreille (Coleoptera: Melolonthidae). Adicional, Lehmann-Danzinger, (2016), señalan que el picudo del fruto del pifá (*P. heinrichi*) es atraído por estos aromas, lo cual coincide con los resultados de este estudio en Toabré.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 1. Listado de plantas seleccionadas dentro de agroecosistema donde se desarrolla el picudo del pifá *P. heinrichi* en Toabré, Panamá.

Nombre común	Nombre científico	Familia	N° de Plantas muestreadas	DRE	Total de inflorescencias	% Inflorescencia	N° de Frutos caídos	% de frutos caídos	N° de <i>P. heinrichi</i> colectados	% de <i>P. heinrichi</i>
Café robusta	<i>Coffea canephora</i> Pierre ex A. Froehner	Rubiaceae	38	21,84	1800	82,34	500	42,99	0	0
Calabaza	<i>Crescentia cujete</i> L.	Bignoniaceae	2	1,15	10	0,46	10	0,86	0	0
Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Poaceae	11	6,32	0	0,00	0	0,00	0	0
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	1	0,57	0	0,00	0	0,00	0	0
Clavel de aire	<i>Tillandsia elongata</i> Kunth	Bromeliaceae	14	8,05	13	0,59	0	0,00	0	0
Crotón	<i>Codiaeum variegatum</i> (L.) Rumph. Ex. A. Juss.	Euphorbiaceae	2	1,15	0	0,00	0	0,00	0	0
Espavé	<i>Anacardium excelsum</i> L.	Anacardiaceae	2	1,15	0	0,00	0	0,00	0	0
Flor de espíritu santo	<i>Peristeria elata</i> Hook.	Orchidaceae	2	1,15	3	0,14	0	0,00	0	0
Guarumo	<i>Cecropia peltata</i> L.	Urticaceae	1	0,57	0	0,00	0	0,00	0	0
Helechos	<i>Gleichenia</i> sp.	Gleicheniaceae	12	6,90	0	0,00	0	0,00	0	0
Heliconia	<i>Heliconia hirsuta</i> L.	Heliconiaceae	11	6,32	51	2,33	0	0,00	0	0
Heliotropio indio	<i>Stachytarpetta mutabilis</i> (Jacq.) Vahl	Verbenaceae	2	1,15	8	0,37	0	0,00	0	0
Hibiscus	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i> L.	Malvaceae	4	2,30	15	0,69	9	0,77	0	0
Ixora	<i>Ixora</i> spp.	Rubiaceae	5	2,87	30	1,37	0	0,00	0	0
Lantana	<i>Lantana camara</i> L.	Verbenaceae	11	6,32	44	2,01	27	2,32	0	0
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	3	1,72	39	1,78	15	1,29	0	0
Naranja criolla	<i>Citrus sinensis</i> Osbeck	Rutaceae	2	1,15	14	0,64	7	0,60	0	0
Naranja mandarina (enana)	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Rutaceae	2	1,15	12	0,55	5	0,43	0	0
Palma de coco	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	9	5,17	37	1,69	30	2,58	0	0
Palma de Manila	<i>Adonidia merrillii</i> (Becc.) Becc	Arecaceae	6	3,45	34	1,56	190	16,34	0	0
Pifá	<i>Baccharis gasipaes</i> Kunth	Arecaceae	21	12,07	63	2,88	353	30,35	100	100
Piro	<i>Bromelia pinguin</i> L.	Bromeliaceae	3	1,72	2	0,09	0	0,00	0	0
Plátano criollo	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Musaceae	6	3,45	11	0,50	17	1,46	0	0
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L.	Fabaceae	2	1,15	0	0,00	0	0,00	0	0
Yuca	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Euphorbiaceae	2	1,15	0	0,00	0	0,00	0	0
TOTAL			174	100,00	2186	100,00	1163	100,00	100	100,00



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

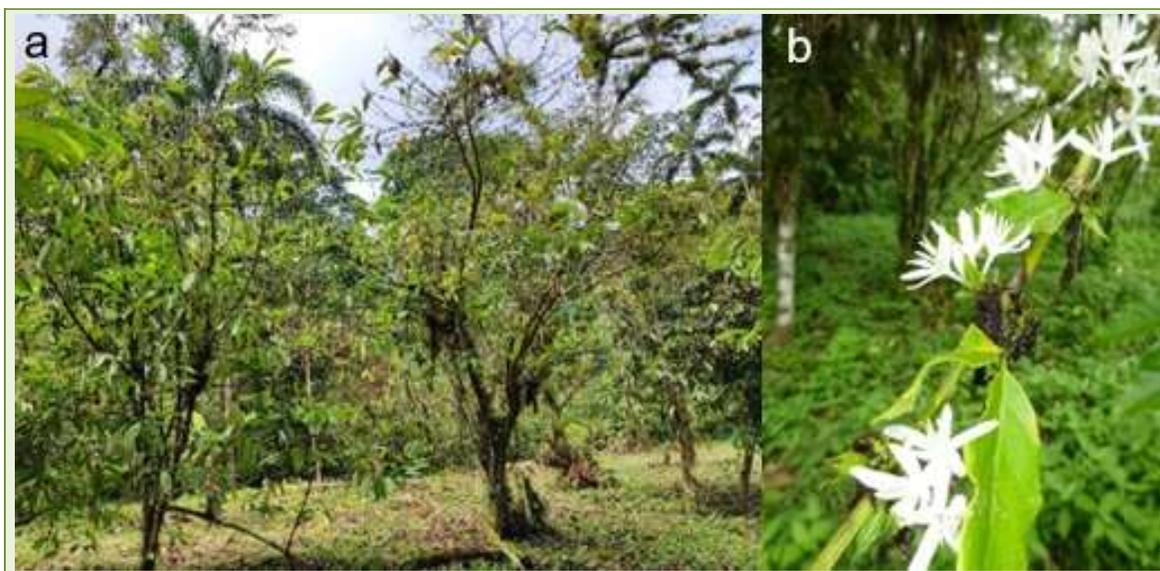


Figura 3. Planta de café dentro del agroecosistema asociado al cultivo de pifá en Coclé, Panamá. Planta (a) y flores (b).

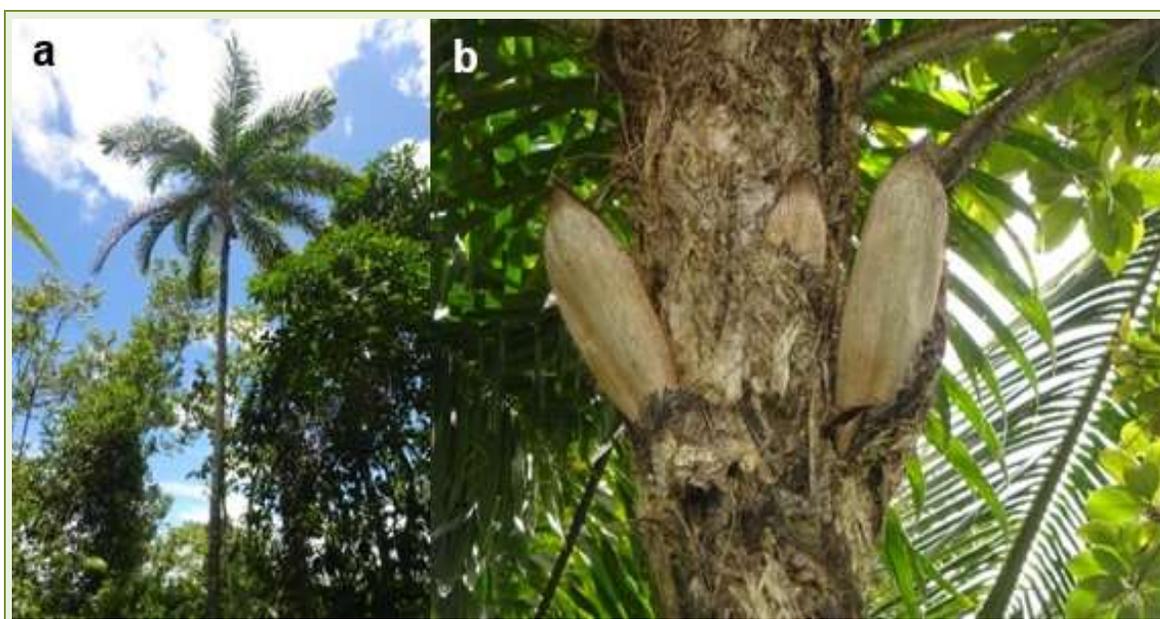


Figura 4. Planta de pifá dentro del agroecosistema asociado al cultivo de pifá en Coclé, Panamá. Planta (a) y bráctea de inflorescencia previa apertura (b).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 5. Planta de clavel de aire dentro del agroecosistema asociado al cultivo de pifá en Coclé, Panamá.



Figura 6. Planta de heliconia dentro del agroecosistema asociado al cultivo de pifá en Coclé, Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 7. Planta de palma manila dentro del agroecosistema asociado al cultivo de pifá en Coclé, Panamá. Planta (a), inflorescencia y frutos (b).

CONCLUSIONES

- Entre de los muestreos realizados dentro del agroecosistema asociado al pifá en Toabré, provincia de Coclé, fueron encontradas 25 especies de plantas con el potencial de albergar *P. heinrichi*, que incluyó el pifá.
- La única especie de planta donde se encontraron especímenes adultos de *P. heinrichi* en las estructuras revisadas durante el estudio fue pifá.

REFERENCIAS

- Antonino, A., La Porta, N., y Avalos, D. (1996). Importancia de las plantas hospederas en la dinámica poblacional de *Nezara viridula* (L.), plaga de soja. *AgriScientia*, 13, 13-23. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/2478>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Arroyo Oquendo, C., Mexzón, R. G., y Mora Urpi, J. (2004). Insectos fitófagos en pejibaye (*Bactris gasipaes* K.) para palmito. *Agronomía Mesoamericana*, 15(2), 201-208. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v15n02_201.pdf

Atencio V., R., Jaén, M., y Aguilera, V. (2021). Hacia un Manejo Integrado del Picudo del Fruto del Pifá (*Palmelampus heinrichi* O'Brien) en Panamá. *Actualidad Agropecuaria*, 270, 8-16. <https://actualidadagropecuaria.com/revista-digital-actualidad-agropecuaria-noviembre-2021/>

Ávila-Sánchez, P., Sánchez-González, A., Catalán-Heverástico, C., Almazán-Nuñez, y Jiménez-Hernández, J. (2018). Patrones de riqueza y diversidad de especies vegetales en un gradiente altitudinal en Guerrero, México. *Polibotánica*, 45, 101-113.

Capitania, R., y Carcaillet, C. (2008). Post-fire Mediterranean vegetation dynamics and diversity: a discussion of succession models. *Forest Ecology and Management*, 255, 431–439. <https://www.frames.gov/catalog/46560>

Collantes G., R. (2022). Situación Actual del Cultivo de Pifá (*Bactris gasipaes*) En La Provincia de Chiriquí, Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (35), 78-89. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/598>

De La Pava Suárez, N., García Sarabia, M. A., Brochero Bustamante, C. E., y Sepúlveda Cano, P. A. (2020). Registros de Dryophthorinae (Coleoptera: Curculionidae) de la Costa Caribe colombiana. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 96 - 103. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.77797> https://www.researchgate.net/publication/338560090_Registros_de_Dryophthorinae_Coleoptera_Curculionidae_de_la_Costa_Caribe_colombiana

Gliessman, S. R. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, C.R.: CATIE. 359 P.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Gold, C. S., y Messiaen, S. (2000). El picudo negro del banano *Cosmopolites sordidus*. Plagas de *Musa*. Hoja divulgativa No. 4. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/696_ES.pdf

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2018). Memoria Anual 2017. 75 p. www.idiap.gob.pa

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2019). Memoria Anual 2018. 75 p. www.idiap.gob.pa

Instituto de Mercadeo Agropecuario. (2021). Pixbae, pibá, pifá. Frutales. Catálogo de rubros cultivados en Panamá. 69 p. <https://web.ima.gob.pa/wp-content/uploads/2021/03/CATALOGO-RUBROS-2020-.pdf>

Jiménez, E. (2009). *Métodos de Control de Plagas*. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Managua, Nicaragua. 141 p. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf>

Herrera Vásquez, J. A., Jaén Sanjur, J. N., Zachrisson Salamina, B. A., Rubio Miguélez, L., Barba Alvarado, A. A., Aguilera Cogley, V. A., Atencio Valdespino, R., Galipienso Torregrosa, L., y Mejía Franco, L. C. (2022). Ocurrencia y distribución de *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos de tomate en Panamá. *Acta Agronómica*, 71(1), 96-105. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.96974>

Lehmann-Danzinger, H., Burbano Torres, M. E., y Daxl, R. (2016). Biology of *Palmelampus heinrichi* O'Brien, 2000 (Curculionidae), a new invasive species of the humid tropics of Colombia causing fruit-fall of peach palm *Bactris gasipaes*. XXV International Congress of Entomology. Presentation #114671. 25-30 September 2016, in Orlando, Florida, USA.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Lot, A., y Chiang, F. (1986). Manual de Herbario: administración y manejo de colecciones, técnicas de recolección y preparación de ejemplares botánicos. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, DF. 142 pp.

Machuca, L. (2017, agosto). El picudo nos deja sin pixbae cultivado en Bocas del Toro. Panamá América. (23/08/2017). <https://www.panamaamerica.com.pa/provincias/el-picudo-nos-dejan-sin-pixbae-cultivado-en-bocas-del-toro-1081143>

Margalef, R. (1977). *Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona 951 p.

Martínez, A. (2011). Evaluación de la actividad antioxidante de los aceites y de su fracción insaponificable de los frutos: *Mauritia flexuosa* (Morete), *Bactris gasipaes* (chonta), *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi), y *Oneocarpus batahua* (Ungurahua), utilizando los métodos DPPH y test del b-caroteno. Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero en Biotecnología de los Recursos Naturales. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1347/13/UPS-QT00035.pdf>

Molina, D. (2022). Review on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), with emphasis on resistance by antibiosis and antixenosis. *Revista Colombiana De Entomología*, 48(2). <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i2.11172>

Núñez Avellaneda, L. A. (2014). *Patrones de asociación entre insectos polinizadores y palmas silvestres en Colombia con énfasis en palmas de importancia económica*. Trabajo de Tesis Requisitos para optar por el título de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogotá, D.C.

Orellano Polanco, A. D. (2014). *Catálogo de frutales nativos de Guatemala*. Gobierno de Guatemala. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación / ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 87 p.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frtales%20nativos/Catalogo%20de%20frtales%20nativos%20de%20Guatemala,%202014.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2003). *Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en Panamá*. Preparado para el Taller Regional sobre los Recursos Genéticos Forestales de Centroamérica, Cuba y México, CATIE, Turrialba, Costa Rica, 24 al 29 de noviembre 2002. Basado en el trabajo de Carlos A. Ramírez, septiembre de 2003. Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Documento de Trabajo FGR/50S. Dirección de Recursos Forestales FAO, Roma, Italia, Departamento de Montes.

Pérez, R., y Condit, R. (2021). Tree Atlas of Panama. <http://ctfs.si.edu/PanamaAtlas/maintreeatlas.php>

Quintero-Angulo, B. A., y Pardo-Locarno, L. C. (2017). Escarabajos (Coleóptera: Melolonthidae) asociados a la floración del chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth) en Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. *Investigación Agropecuaria*, 14(1), 1-12. <https://investigacionagropecuaria.jimdofree.com/art%C3%ADculos-14-1/>

Restrepo, J., y Estupiñan, J. A. (2007). Potencial del chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) como fuente alimenticia del alto valor nutricional en países tropicales. *Revista de Ciencias*. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/entities/publication/e0b196c4-3fe2-42b9-a033-68ab7bd2bd48>

Rodríguez, R. (2021, septiembre 14). *Plaga Picudo merma la producción de pixbae en el país*. *Economía*. En Segundos. <https://ensegundos.com.pa/2021/09/14/plaga-picudo-merma-la-produccion-de-pixbae-en-el-pais/>

Souza, V. C., y Lorenzi, H. (2010). *Chave de identificação: pra as principais familias de angiospermas nativas e cultivadas do Brasil*. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Universidad Tecnológica de Panamá. (2011). *Procedimiento para la Identificación Taxonómica de Especies Vegetales*. Universidad Tecnológica de Panamá. Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas. Área de Ambiental. 5 p. <https://www.utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-AA-102-2006.pdf>

Zarco-Espinosa, V. M., Valdez-Hernández, J. I., Ángeles-Pérez, G., y Castillo-Acosta, O. (2010). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 26(1): 1-17.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Doctor Ismael Camargo en el IDIAP, así como a los Ingenieros Pablo Rodríguez, Alex Domingo, Candelario Olivares y Edgardo Acuña de la Dirección Nacional del Sanidad Vegetal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA); a los técnicos de la agencia de Toabré del MIDA y al señor Candelario Martínez productor de pifá en Toabré, provincia de Coclé, por su participación en la implementación del manejo integrado del picudo del pifá dentro su finca. Los autores Randy Atencio-Valdespino y Vidal Aguilera-Cogley agradecen al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la SENACYT por su apoyo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

TOLERANCIA AL CALOR DE BOVINOS CRUZADOS WAGYU-BRAHMAN BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO HUMEDO, PANAMÁ¹

*Pedro Guerra-Martínez²; José L. Bernal-Rosas³; Carlos I. Martínez-Delgado⁴;
Aristides A. Villarreal-Ruíz⁵; María M. De Gracia-Victoria⁶; Olegario Ibarra-Guerra⁷*

RESUMEN

El objetivo principal fue evaluar la tolerancia al calor de bovinos Wagyu-Brahman pastoreando bajo condiciones de trópico húmedo. Los datos corresponden al período 2008-2014. Las variables dependientes fueron: índice de carga calórica (HLI), frecuencia respiratoria (FR); temperatura rectal (TR) y temperatura tegumentaria (TS). Para cada observación tomada se calculó el índice temperatura-humedad (ITH) con la temperatura ambiental (Tamb) y humedad relativa (HR). Los grupos raciales fueron: WG25, WG50, WG75 y WGF1. La época del año (EP) al momento del muestreo se clasificó en época seca (ESC) y lluviosa (ELL). Los datos se analizaron mediante un modelo anidado lineal generalizado. Se utilizó análisis de regresión para estudiar la tendencia de ITH con Tamb y HR; así como de las variables en estudio con ITH. Los efectos de EP y GR(EP) no fueron significativos ($P>0,05$) en las variables dependientes. Las correlaciones con ITH en WGF1 fueron: 0,218 (HLI), 0,527 (FR), 0,348 (TR) y 0,309 (TS) y todas significativas ($P<0,01$). En ELL, mayores valores de HLI (95,07), FR (51,29 inspiraciones/min) y TR (39,80° C) se encontraron en WG50, pero en ESC mayores valores de HLI (97,34), FR (49,50 inspiraciones/min) y TR (40,50° C) en WG25. Las diferencias de valores de HLI, FR, TR y TS entre GR(EP) no fueron significativas ($P>0,05$). De acuerdo con el HLI, la EEG-CMO-IDIAP está en una condición muy caliente (94,6) y en el ITH en una zona de peligro (82,6). Basado en la TR y FR todos los GR evaluados presentaron moderada tolerancia al calor.

Palabras claves: Cruces Wagyu-Brahman, frecuencia respiratoria, HLI, ITH, temperatura rectal.

¹Recepción: 12 de abril de 2023. Aceptación: 28 de agosto de 2023. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Innovación Agropecuaria Chiriquí (CIA Chiriquí). Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega".

²IDIAP. CIA Chiriquí. M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. e-mail: pedroguerram16@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000/0001/6731/3624>

³IDIAP. CIA Chiriquí. Medicina Veterinaria y Reproducción Animal.

⁴IDIAP. CIA Comarcal. Sub-Centro Hato Chamí. Ingeniero Zootecnista.

⁵IDIAP. CIA Chiriquí. Laboratorio de Salud Animal. M.Sc. Salud Animal.

⁶IDIAP. CIA Chiriquí. Laboratorio Salud Animal. Técnica Laboratorista.

⁷IDIAP. CIA Chiriquí. Asistente de Campo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

HEAT TOLERANCE OF WAGYU-BRAHMAN CROSSBRED BOVINES UNDER HUMID TROPIC CONDITIONS, PANAMÁ

ABSTRACT

The main objective was to evaluate the heat tolerance of Wagyu-Brahman bovines grazing under the humid tropic conditions. Data correspond to the 2008-2014 period. Dependent variables were: heat load index (HLI), respiration rate (FR), rectal temperature (TR) and integumentary temperature (TS). For each taken observation it was calculated the temperature-humidity index (ITH) with the ambient temperature (T_{amb}) and relative humidity (HR) were determined. Racial groups (GR) were: WG25, WG50, WG75 and WGF1. Season of the year (EP) at the sampling moment was classified into dry season (ESC) and rainy season (ELL). Data were analyzed by a generalized linear nested model. Regression analyses were performed to study the ITH tendency with T_{amb} and HR, as well as the studied variables with ITH. Effects of EP and GR(EP) were not significant ($P > 0.05$) on the dependent variables. Correlations with ITH on WGF1 were: 0.218 (HLI), 0.527 (FR), 0.348 (TR), and 0.309 (TS) and all significant ($P < 0.001$). In ELL, higher values of HLI (95.07), FR (51.29 breaths/min) and TR (39.80° C) were found on WG50, but higher values of HLI (97.34), FR (49.50 breaths/min) and TR (40.50° C) were found on WG25. Differences in HLI, FR, TR and TS values among GR(EP) were not significant ($P < 0.05$). According to the HLI, the EEG-CMO-IDIAP is on very hot condition (94.6) and to the THI in a danger zone (82.6). Based on TR and FR all evaluated GR presented moderate heat tolerance.

Keywords: Wagyu-Brahman crosses, respiratory rate, HLI, ITH, rectal temperature.

INTRODUCCIÓN

La productividad del ganado bovino bajo las condiciones del trópico está en función de su bienestar. Este bienestar no es más que el estado de armonía entre el animal con su ambiente, y tiene que ver con el esfuerzo que debe realizar para sobreponerse a las adversidades del ambiente (Broom, 2003). El nivel de estrés calórico que el animal puede experimentar se relaciona con tres factores: condiciones ambientales que existen (Hahn et al., 1999), susceptibilidad del animal (Brown-Brandl y Jones, 2011), y protocolos de manejo usados en el animal. De acuerdo con Hammond et al. (1996) la tolerancia al calor es definida como la habilidad del bovino a mantener constante la temperatura corporal en un ambiente cálido o caliente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los Sistemas Vaca-Ternero y Ceba Bovina de Panamá se desarrollan en el trópico húmedo y en pastoreo bajo condiciones de extrema deforestación con predominio de la raza Brahman (*Bos indicus*). Estas condiciones producen estrés calórico (fuerzas externas al animal homeotérmico⁸ y endotérmico⁹ que actúan para desplazar la temperatura corporal de su estado en reposo), altera el comportamiento fisiológico (funciones celulares) y comportamiento del animal (reproducción y producción) (Guerra M. et al., 2004; Guerra M. et al., 2008; Guerra M. et al., 2012). Entre las variables atmosféricas que influyen en el confort térmico (Hafez, 1973) de los bovinos están: la temperatura ambiental (Tamb), humedad relativa (HR), radiación solar (RS) y velocidad del viento (VV). Los efectos acentuados de estos fenómenos ambientales provocan alteraciones en la temperatura corporal, ingestión, digestión, respiración, circulación de la sangre, estado de las glándulas de secreción interna, (Álvarez, 2004), el cual produce una disminución en el comportamiento animal, afectando al mismo tiempo su estado de salud (Bergerón y Lewis, 2002). El Índice Temperatura-Humedad (ITH) ha sido ampliamente utilizado como un indicador de estrés calórico en la ganadería bovina (Thom, 1959), ajustado por radiación solar y velocidad del viento por Mader et al. (2006).

La productividad animal en el trópico es que las razas tolerantes al calor son de baja producción, porque la tolerancia al calor implica una baja producción de calor (Berbigier, 1989). Por otro lado, investigadores como Hammond et al. (1996) indican que, para mercados nacionales e internacionales de alta exigencia en calidad de la carne, en países de alta producción de carne bovina, la raza Brahman (*Bos indicus*) pura y sus cruces con >75% de Brahman tiene desventaja en su aceptabilidad por ganaderos (bajo comportamiento reproductivo, productivo, temperamento en confinamiento), procesadores (calidad y rendimiento de la canal) y consumidores (suavidad, jugosidad y marmoleado).

Para países como el nuestro con miras a la exportación de carne bovina, una estrategia para mejorar la eficiencia bio-económica del Sistema Vaca-Ternero y Ceba

⁸ Homeotérmico: animal con temperatura corporal constante y en un determinado nivel (36° a 40°C) que es óptimo para el conjunto de todas sus reacciones bioquímicas.

⁹ Endotérmico: animal que produce calor interno por las distintas funciones orgánicas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Bovina es el cruzamiento interracial con razas tolerantes al calor¹⁰ o adaptadas al trópico húmedo entre el Brahman (*Bos indicus*) y razas especializadas para producir carne de alta calidad capaz de competir en mercados locales e internacionales. Una raza bovina que ha despertado mucho interés a nivel mundial, incluyendo Panamá, es el Wagyu que se caracteriza por su alta fertilidad, facilidad al parto, madurez temprana, temperamento dócil, gran habilidad de marmoleado, su carne contiene dos veces más ácidos grasos monoinsaturado (MUFA) y textura más fina (Gotoh et al., 2014; Guerra M., 2015).

Actualmente hay poca información y estudios de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en pastoreo bajo condiciones de estrés calórico del trópico húmedo. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la tolerancia al calor de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en pastoreo y su relación con el ITH en condiciones del trópico húmedo de Gualaca, Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio: el estudio se realizó en la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (Gualaca, provincia de Chiriquí), ubicada a 8°39'20" latitud norte y 82°10'10" longitud oeste. La zona pertenece al ecosistema Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1979).

Climatología del área de estudio: los datos climatológicos históricos (promedio de 23 años) de la Estación Experimental de Gualaca de IDIAP fueron tomados de la Estación Gualaca II de la Empresa de Transmisión Eléctrica [ETESA], 2018. La temperatura ambiental promedio fue de 26,8° C (27,5° C en época seca y 26,5° C en época lluviosa), humedad relativa promedio de 79,0% (70,9% en época seca y 84,0 en época lluviosa), la velocidad del viento (3,2 m/s en época seca y 2,1 m/s en época lluviosa) y la precipitación pluvial anual de 4,244 mm.

Fuente de datos: los datos provienen de los animales post-destetados nacidos en el período 2008 a 2014. La fecha de toma de información se agrupó en dos épocas del año

¹⁰ Tolerancia al calor: es la tolerancia fisiológica de los seres vivos al calor que recibe del ambiente donde interactúa. (Fuente: los autores)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(EP): época seca (ESC) y época lluviosa (ELL). Así los meses de enero a abril se agruparon en ESC y los meses de mayo a diciembre se agruparon en ELL.

Grupos raciales: los grupos genéticos del animal (GR) fueron: WG25 (25% Wagyu + 75% Brahman) con 7 animales que generaron 19 observaciones; WG50 (50% Wagyu + 25% *Bos taurus* + 25% Brahman) con 9 animales que generaron 18 observaciones; WG75 (75% Wagyu + 25% Brahman) con 10 animales que generaron 31 observaciones y WGF₁ (50%Wagyu + 50% Brahman) con 20 animales que generaron 88 observaciones. En total 46 animales estuvieron involucrados y generaron 156 observaciones.

Base de alimentación: los animales pastorearon principalmente el pasto *Brachiaria humidicola* fertilizada con acceso a libre consumo de sal mineralizada. En la época seca, los animales fueron suplementados a base de concentrados de granos, soya y subproductos de molinería del arroz, ensilado de maíz, caña de azúcar picada (*Saccharum officinarum*) y sal proteinada.

Salud del hato: los animales se desarrollaron bajo un régimen sanitario que consistió en el control y prevención de endoparásitos y ectoparásitos; además de vacunación contra Pierna Negra, Septicemia Hemorrágica y Carbunco Sintomático.

Tolerancia al calor: cada animal experimental en el momento del pesaje se les tomó la siguiente información de acuerdo con Guerra M. et al. (2004); Guerra M. et al. (2012). Los datos se tomaron entre 10:00 a.m. y 2:00 p.m.

Temperatura interna (TR): es la temperatura rectal medida en cada animal a través de un termómetro de vidrio con mercurio de bulbo seco por un tiempo de un minuto.

Frecuencia respiratoria (FR): se midió contando la cantidad de inspiraciones observadas en la caja de las costillas en 15 segundos y se multiplicó por cuatro para obtener la frecuencia en un minuto.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Temperatura tegumentaria (TS): se determinó con un termómetro digital infrarrojo dirigido encima de la piel a la altura de las vértebras lumbares.

Área corporal (A): para determinar el área corporal aproximada, se utilizó la fórmula desarrollada por De Alencar Nããs (1989): para ganado el ganado Cruzado como: $A = 0,15W^{0,56}$. Donde: A es el área (m²) y W es el peso vivo corporal (kg).

Índice Temperatura-Humedad (ITH): se calculó de acuerdo con Thom (1959); (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 1976) tomando en cuenta la temperatura ambiental (Tamb) y humedad relativa (HR):

$$ITH = (0,8 * Tamb) + (HR/100) * (Tamb - 14,3) + 46,4$$

Este ITH no se ajustó por la velocidad del viento (VV, m/s) y radiación solar (RS, W/m²) de acuerdo con Mader et al., (2004) por carecer de dicha información. Además, para calificar la severidad del ITH se utilizó la escala de Livestock Conservation Incorporated (LCI, 1970), conocida como: Livestock Weather Safety Index basado en las siguientes categorías de ITH: normal, ITH <74; alerta, 74 < ITH < 79; peligro, 79 < ITH < 84; y emergencia, ITH > 84 (Brown-Brandl, 2018).

Índice de Carga Calórica (HLI): se estimó usando las siguientes ecuaciones de regresión múltiple de Whittow (1962) y Gaughan et al. (2008), modificada por Suárez P. et al. (2012):

$$Tb = 36,27 + 0,12T \text{ para } Tamb > 25^\circ C$$

$$HLI_{Tamb > 25} = 9,62 + 0,38HR + 1,55Tb - 0,5vv + e^{-2,4*vv}$$

Donde: Tamb > 25° C = temperatura ambiental para zonas con >25° C; Tb= temperatura corporal en ° C; e= es la base del logaritmo natural; e=2,71828. Se asumió una VV de 1,0075 m/s (promedio anual en la EEG-CMO). De acuerdo con Gaughan et al. (2008) el HLI es dividido en cuatro categorías: 1) condiciones termoneutrales cuando HLI es <70,0; 2) condiciones cálidas, cuando el IHL está entre 70,1 a 77,0; 3) condiciones calientes, cuando el HLI está entre 77,1 a 86,0; y 4) condiciones muy calientes, cuando el HLI está



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

>86,0. Por otra parte, Suárez P., et al. (2012) propuso la siguiente clasificación: HLI>92 condición normal; HLI 92-100 estado de alerta; 100-114 estado de peligro; y >114 estado de emergencia.

Análisis de varianza de los datos: la información colectada (HLI, FR, TR y HLI) se analizó mediante un modelo lineal generalizado anidado (Searle,1971). El modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j(\alpha_i) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} es la k-ésima observación del j-ésimo grupo racial anidado en la i-ésima época del año; μ es la media general; α_i es el efecto de la época del año (EP); $\gamma_j(\alpha_i)$ es el efecto del anidamiento del j-ésimo grupo racial dentro de la i-ésima época del año [GR(EP)] y ε_{ijk} es el término de error (NID). Medias ajustadas por mínimos cuadrados fueron comparadas mediante pruebas de t con $\alpha=0,05$ y probar la hipótesis nula de $H_0: \mu_i = \mu_j$.

Análisis de regresión de los datos: se realizó una regresión múltiple por EP con las variables dependientes FR y TR con Tamb y HR para determinar sus efectos y grado de tendencia.

$$\hat{Y}_{ij} = \alpha + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: \hat{Y}_{ij} es la variable dependiente FR o TR, α es el intercepto, β_1 y β_2 son los coeficientes parciales de regresión X_i y X_j son las variables independientes Tamb y HR, respectivamente y ε_{ij} es el error aleatorio (NID).

Las variables dependientes relacionadas a las constantes fisiológicas (TR, FR, y TS) y HLI también fueron analizadas mediante la técnica de regresión lineal y cuadrática (Draper y Smith, 1981) pasando por el origen con el ITH. Este análisis se efectuó por grupo racial del animal (GR).

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_1 X_i + \varepsilon_{ij}$$

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_1 X_i + \beta_2^2 X_i + \varepsilon_{ij}$$



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Donde: \hat{Y}_{ij} es la variable dependiente del j-ésimo animal, del i-ésimo grupo racial; β_1 y β_2 son los coeficientes parciales de regresión; X_i es la variable independiente ITH y ε_{ijk} es el error aleatorio (NID).

Análisis de correlación de los datos: se midió la relación entre las variables TR, FC, FR y HLI con ITH por GR a través de la técnica de correlación de Pearson (Draper y Smith, 1981).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se registró un ITH promedio de 82,7 con un mínimo de 79,3 y máximo de 84,6. Estos valores ubican al ITH en una categoría de “peligro” (Brown-Brandl, 2018). Basado en estos resultados, la EEG-CMO del IDIAP está en una zona de mucho cuidado para el desarrollo eficiente de la ganadería bovina en pastoreo y que se deben tomar medidas para mitigar los efectos adversos del estrés calórico. En el estudio de Guerra M., et al. (2004) con animales cruzados *Bos taurus* x *Bos indicus*, el ITH estuvo entre 82,17 y 82,33 en la ESC y 78,73 a 83,04 en la ELL. Además, Hammond et al. (1996) reportaron valores de ITH entre 63 y 85 en Florida, USA al evaluar razas indicas, adaptadas (Senepol y Romosinuano) y taurinas.

Entre las épocas del año y los grupos raciales anidados dentro de cada época no existieron diferencias significativas ($P>0,05$). Los CV estuvieron por debajo del 5,0%, a excepción de FR, cuyo CV fue alto (24,8%), indicando una moderada variabilidad en los datos (Cuadro 1). Esta situación puede explicarse por la dificultad y lo estresante del manejo animal al momento de tomar la información.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables HLI, FR, TR Y TS.

FV	CUADRADOS MEDIOS				
	gl	HLI	FR	TR	TS
EP	1	15,3816 ^{ns}	86,6310 ^{ns}	0,0168 ^{ns}	7,4673 ^{ns}
GR(EP)	6	10,5904 ^{ns}	13,9608 ^{ns}	0,5282 ^{ns}	4,0049 ^{ns}
Error	148	11,6230	147,4069	0,5069	2,8603
CV, %		3,6	24,8	1,8	4,5

ns = no significativo ($P>0,05$). HLI: Índice de Carga Calórica; FR: Frecuencia respiratoria; TR: Temperatura interna; TS: Temperatura tegumentaria.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las variables Tamb y HR afectan lineal y significativamente ($P < 0,01$) a FR y TR en las dos EP. Las funciones de predicción son las siguientes:

- ESC: $FR (\hat{y}) = -158,27225 + 5,30337Tamb + 0,60167HR$. $R^2 = 0,229$. $CV = 22,3\%$
- ELL: $FR (\hat{y}) = -167,45227 + 5,57700Tamb + 0,63161HR$. $R^2 = 0,227$. $CV = 21,3\%$
- ESC: $TR (\hat{y}) = 27,43573 + 0,27721Tamb + 0,05226HR$. $R^2 = 0,221$. $CV = 1,6\%$
- ELL: $TR (\hat{y}) = 31,55862 + 0,17362Tamb + 0,04089HR$. $R^2 = 0,152$. $CV = 1,7\%$

Se observa que durante la ELL, tanto Tamb como HR afectan más a FR que en ESC ($P < 0,01$). Ambas, Tamb y HR afectan significativamente ($P < 0,01$) a TR en la ESC no así en ELL. Tanto Tamb como HR tienen igual relevancia en aumentar FR y TR en el animal, aunque Tamb presentó un mayor efecto para ambas EP.

Las correlaciones entre ITH con las variables en estudio tuvieron de bajo a mediano grado de asociación (Cuadro 2). Para los GR WG25 y WG50 no se encontraron correlaciones significativas con ITH; sin embargo, en WG75 se encontró una correlación altamente significativa ($P < 0,01$) entre ITH con FR y TR. Con el WGF1 las correlaciones fueron altamente significativas ($P < 0,01$) entre ITH con FR, TR y TS y significativa ($P < 0,05$) con HLI. Estos resultados corroboran la importancia de FR y TR en determinar el estrés calórico en bovinos. Tal como indica Robertshaw (1985) que la FR puede ser una medida de jadeo y más apropiado indicador de estrés calórico que la TR; sin embargo, Hahn y Mader (1997); Gaughan et al. (2000); Gaughan et al. (1999) y Brown-Brandl et al. (2018), sostienen que la TR junto con la FR son indicadores confiables de la carga calórica, pero son difíciles de medir bajo condiciones de campo.

Cuadro 2. Correlaciones (Pearson) entre ITH con las variables HLI, FR, TR Y TS.

Grupo Racial	HLI	FR	TR	TS
WG25	0,221 ^{ns}	0,369 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,192 ^{ns}
WG50	0,133 ^{ns}	0,379 ^{ns}	0,243 ^{ns}	0,378 ^{ns}
WG75	0,152 ^{ns}	0,442 ^{**}	0,593 ^{**}	0,121 ^{ns}
WGF1	0,218 [*]	0,527 ^{**}	0,348 ^{**}	0,309 ^{**}

ns= no significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$. HLI: Índice de Carga Calórica; FR: Frecuencia respiratoria; TR: Temperatura interna; TS: Temperatura tegumentaria.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Durante la ESC los valores de HLI, TR y TS (Cuadro 3) fueron ligeramente mayores que en la ELL, a excepción de FR; aunque sus diferencias no resultaron ser significativas ($P>0,05$), pero sí una tendencia a la significancia en TS ($P<0,05$). Además, Guerra M. et al. (2004) en animales cruzados F1 *Bos taurus* x *Bos indicus* también encontraron mayor FR en la ELL (33,5% más en Brahman; 13,7% más en F1 Charoláis y 50,9% más en F1 Simmental). De acuerdo con la categorización del HLI de Gaughan et al. (2008), el HLI encontrado en este estudio, aunque muy similar en ambas épocas del año, están en la categoría de muy caliente, pero para Suárez P. et al. (2012) basado en su estudio en el Valle del Sinú (bosque seco tropical de Colombia) la ubica en categoría de estado de alerta para temperatura ambiental $>27^{\circ}$ C y radiación solar de >500 W/m², caracterizado por una leve salivación, jadeo y aumento de la frecuencia respiratoria. Ninguno de estos signos se presentó en los animales experimentales.

Cuadro 3. Medias ajustadas \pm EE del índice de carga calórica (HLI), frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura tegumentaria (TS) por época del año¹.

Época del año	HLI	FR	TR	TS
Lluviosa	94,35 \pm 0,38 ^a	50,25 \pm 1,37 ^a	39,69 \pm 0,08 ^a	37,46 \pm 0,19 ^a
Seca	95,28 \pm 0,71 ^a	48,05 \pm 2,52 ^a	39,72 \pm 0,15 ^a	38,10 \pm 0,35 ^b

¹Medias unidas con la misma letra no difieren entre sí al 10%.

Bovinos WG50 presentaron la mayor FR, aunque no difirió de los otros grupos raciales dentro de cada época del año (Cuadro 4), superando en 3,7% y 4,9% al WGF1 en ambas épocas, respectivamente. Estas diferencias tampoco fueron significativas ($P>0,10$). Además, Guerra M., et al. (2004) reportaron valores similares de FR en la ESC, pero más baja en la ELL; así reportaron en Brahman valores de 50,9 y 38,4 inspiraciones/min en la ESC y ELL, respectivamente; en F1 Charoláis de 51,2 y 45,0 inspiraciones/min, respectivamente y en F1 Simmental de 57,7 y 38,3 inspiraciones/min, respectivamente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 4. Medias ajustadas \pm EE del índice de carga calórica (HLI), frecuencia respiratoria (FR), temperatura rectal (TR) y temperatura tegumentaria (TS) por grupo racial dentro de época del año¹.

ÉPOCA DEL AÑO	GRUPO RACIAL	HLI	FR (insp/min)	TR ° C	TS ° C
Lluviosa	WG25	93,94 \pm 0,88 ^a	50,27 \pm 3,13 ^a	39,79 \pm 0,18 ^a	37,17 \pm 0,44 ^a
Lluviosa	WG50	95,07 \pm 0,91 ^a	51,29 \pm 3,24 ^a	39,80 \pm 0,18 ^a	37,16 \pm 0,45 ^a
Lluviosa	WG75	93,52 \pm 0,68 ^a	49,96 \pm 2,43 ^a	39,48 \pm 0,14 ^a	37,90 \pm 0,34 ^a
Lluviosa	WGF1	94,88 \pm 0,55 ^a	49,47 \pm 1,97 ^a	39,71 \pm 0,11 ^b	37,60 \pm 0,27 ^a
Seca	WG25	97,34 \pm 1,70 ^a	49,50 \pm 6,07 ^a	40,50 \pm 0,36 ^a	37,80 \pm 0,84 ^{ab}
Seca	WG50	94,46 \pm 1,70 ^a	49,50 \pm 6,07 ^a	39,78 \pm 0,36 ^{ab}	39,30 \pm 0,89 ^a
Seca	WG75	94,53 \pm 1,39 ^a	46,00 \pm 4,60 ^a	39,55 \pm 0,29 ^{ab}	38,00 \pm 0,69 ^{ab}
Seca	WGF1	94,79 \pm 0,48 ^a	47,20 \pm 1,72 ^a	39,47 \pm 0,10 ^b	37,31 \pm 0,48 ^b

¹Medias con la misma letra no difieren entre sí al 10%.

La TR fue ligeramente mayor en la ESC en todos los GR, pero no hubo diferencias significativas ($P > 0,10$). Bovinos WGF1 presentaron menor FR (-3,5% que WG50) en la ELL y menor TR (-2,5% que WG5) en la ESC; además bovinos WG75 en la ELL tuvieron menor TR con -0,8% y menor HLI con 1,6% que WG50 y menor FR en la ESC con 7,1% que WG25. Por último, bovinos WG50 reportaron menor HLI en la ESC con 3,0% que WG25. Bajo las condiciones climáticas de la EEG-CMO-IDIAP, Guerra M. et al. (2004) reportaron TR en novillas F₁ Simmental de 40,4 a 39,5° C en la ELL y ESC, respectivamente; en F₁ Charoláis fue 40,0 y 39,3° C y Brahman fue 39,7 y 39,3° C, respectivamente. En el estudio de Guerra M. et al. (2004), las más baja FR y TR se reportaron en la ESC en los tres grupos raciales evaluados, pero no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre ellas.

De acuerdo con Suárez P. et al. (2012), los valores de HLI se encuentra en el estado de alerta y para Gaughan et al. (2008) condición muy caliente. Para estos últimos autores, en el caso de la raza Wagyu pura con sombra bajo condiciones de HLI muy caliente, el 94,12% estaba en nivel de jadeo de "0" y un 5,88% en el nivel "1" de jadeo. Por otra parte, en Brahman sin sombra en condiciones de HLI "muy caliente" el 79,69% estaba en nivel de jadeo de 0 a un 99,04% cuando estaba con sombra. Además, reportaron el más alto límite (upper threshold) en el cual el animal acumula calor en HLI es 86 (valor de referencia) y el HLI es específico para cada grupo racial. Para el caso del Brahman el límite más alto de HLI fue 96 y para el Wagyu fue 90, siendo hasta siete unidades mayores en estimadas en el presente estudio y 11 unidades con respecto al valor de referencia de 86.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resultados preliminares de Guerra M. et al. (2013) con el mismo hato indicaron que la FR en la categoría terneros pre-destete 75WG, WGF1 y 25WG fueron $44,6 \pm 10,4$; $33,6 \pm 9,4$ y $43,2 \pm 12,5$ inspiraciones/min, siendo más baja que la reportada en este estudio, pero la TR fue $40,1 \pm 0,4$; $39,8 \pm 0,4$ y $39,5 \pm 0,5$ °C, respectivamente, siendo ligeramente más altos. De acuerdo con estos investigadores, los terneros pre-destete 75WG resultaron ser los más estresados de los cruces con WG. Hammond et al. (1996) al comprar al final del verano de Florida (USA), el Brahman con razas *Bos taurus* adaptadas al trópico como Romosinuano y Senepol encontraron que la TR fue muy similar entre estos GR ($39,6$ °; $39,5$ ° y $39,2$ ° C, respectivamente), pero por debajo de las TR reportadas en estos GR cruzados con WG ($39,8$ ° C en WG50 en la ELL y $40,5$ ° C en WG25 en la ESC). Además, la FR del Brahman, Romosinuano y Senepol reportadas por Hammond et al. (1996) fueron 36, 55 y 57 inspiraciones/min, respectivamente, superando a los GR cruzados con WG en este estudio ($51,3$ inspiraciones/min en WG50 en la ELL y $49,5$ inspiraciones/min en WG25 en la ESC). Basado en estos reportes, los cruces WG-Brahman muestran más bajas tolerancias al calor comparado en Brahman y razas adaptadas como Senepol y Romosinuano. Por otro lado, Gaughan et al. (1996), evaluó la tolerancia al calor, bajo las condiciones de Queensland, Australia, a GR como Boran (*Bos indicus*) y Tuli (*Bos taurus*) cruzados con Hereford utilizando al Brahman (BRH) puro como testigo. Los datos tomados a las 1500 horas resultaron los más altos en TR y FR. Cruces de Hereford con Boran (HxBO) y Tuli (HxT) mostraron TR muy similar al BRH ($38,4$ °; $38,5$ ° y $38,4$ ° C, respectivamente). Además, para estos GR, la FR reportada fue 50, 61 y 56 inspiraciones/min para HxBO, HxT y BRH, respectivamente.

Todas las funciones de regresión (Figura 1) entre las variables FR e ITH para los cuatro GR resultaron ser lineales y altamente significativas ($P < 0,001$). La mayor tendencia a aumentar la FR por cada unidad de ITH se encontró en animales WG50 ($0,61825$ inspiraciones/minuto), el cual se explica al contener un 50% de Wagyu más 25% de otras razas *Bos taurus*. Sin embargo, los bovinos WGF1 mostraron la menor FR ($0,58449$ inspiraciones/minuto) por unidad de ITH, estando 5,5% menor que la WG50. Bovinos WGF1 muestran el 100% de la heterosis y 50% de los efectos genéticos raciales del Brahman como raza tolerante al estrés calórico. Sin embargo, WG75 que poseen el 75% de genes Wagyu presentaron las más bajas tendencias en TR, pero el segundo GR en FR.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

De acuerdo con Gaughan et al. (2008) lo esperado es que cruces con razas británicas (Angus y Hereford) tienen baja tolerancia al calor que Brahman y Wagyu y que estas razas británicas jadean más a medida que el HLI aumenta de una condición termoneutral a muy caliente que las razas Brahman y Wagyu.

La TR es considerada una medida para establecer la susceptibilidad de los bovinos a la condición ambiental cuyo límite fisiológico está entre 38,5° y 39,0° C (Dukes y Swenson, 1978; Hafez, 1972). El cambio de la TR por unidad de cambio en el ITH fue menor en WG75 con 0,47773° C superado en 1,17% por WG50, siendo este grupo el más sensible al cambio en el ITH (Figura 1). La FR es considerada como otro indicativo del balance calórico del animal y sus límites fisiológicos están entre 10 y 30 inspiraciones/min (Dukes y Swenson, 1978; Hafez, 1972). El mayor cambio de FR por unidad de ITH se reportó con animales WG50 (0,69484 inspiraciones/min) superando en 16,68% a los animales WGF1. Los animales WG50 tuvieron los más altos cambios en TR y FR por unidad de ITH.

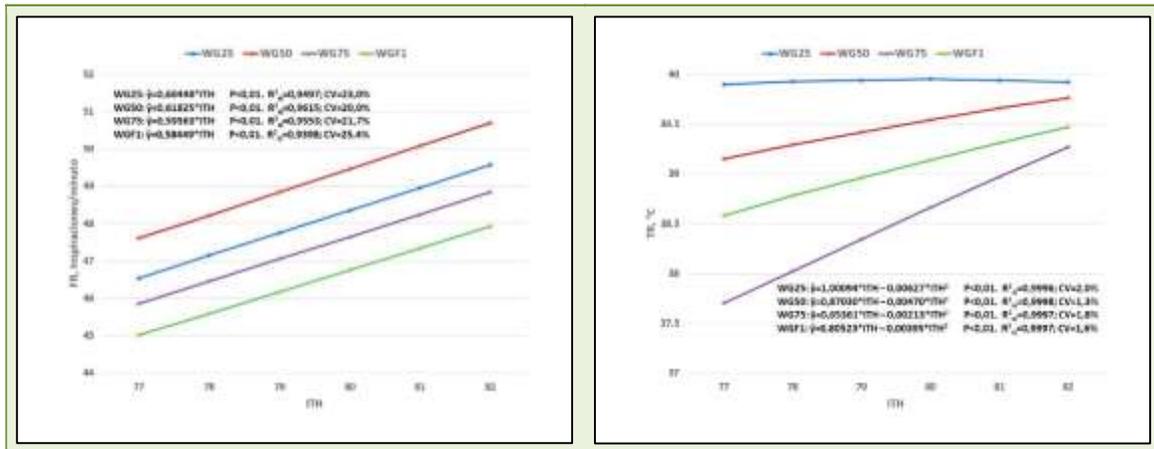


Figura 1. Tendencias de FR y TR con respecto al ITH por grupo racial.

A pesar de que el efecto promedio de interacciones (Época*GR) no resultó significativo ($P > 0,05$), la Figura 1 muestra un cambio de magnitud en la TR entre WG25 y WG75, observándose un mayor cambio en TR por unidad de cambio en ITH. Literatura sobre la TS en GR con Wagyu no encontramos, pero de acuerdo con la época del año varía entre los GR estudiados; así WG75 presentó la más alta TS con 37,9° C en la ELL y



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

39,3° C en WG50 en la ESC. En el primer caso, ELL, hay 75% de genes Wagyu que es un *Bos taurus* y en el segundo caso también hay 75% de genes *Bos taurus*, pero hay un 50% de Wagyu y un 25% de otra raza *Bos taurus*, por lo tanto, se sospecha de una posible interacción genotipo-ambiente para esta característica.

Estos resultados concuerdan con los que reportó Alzina-López et al. (2001) de que la manifestación del almacenamiento de calor en el animal al encontrarse en condiciones de zona cálida y de estrés, provoca cambios en las constantes fisiológicas. Agregan que el almacenamiento de calor se manifiesta en la TR del animal, y la respuesta compensatoria de disipación térmica evaporativa provoca cambios en la FR. De este estudio se observó que la FR y TR están por encima de los límites fisiológicos señalados anteriormente. Esto indica que bajo las condiciones de la EEG-CMO-IDIAP con ITH de 79,2 a 86,6 están en una zona de peligro y con HLI de 100,1 a 85,1 están en una “condición muy caliente”; así los GR de cruces Wagyu-Brahman presentaron moderado estrés calórico.

CONCLUSIONES

- Bajo las condiciones de la EEG-CMO-IDIAP la FR y TR de los bovinos Wagyu-Brahman son muy influenciadas directamente por la Tamb y HR.
- De acuerdo con el ITH, el ecosistema de la EEG-CMO-IDIAP la ubican como “zona de peligro” afectando las constantes fisiológicas en el animal.
- El HLI con las escalas utilizadas indicaron que los animales estuvieron expuesto a una zona de condiciones muy caliente y se ubican en una zona estado de alerta, siendo ambas de mucho cuidado.
- Los altos valores de TR y FR comparados con la literatura muestran que los GR evaluados todos presentaron moderada tolerancia al calor.
- Se confirma que HLI, FR y TR como indicadores más confiables de estrés calórico.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Las más altas HLI, FR, TR y TS variaron entre los GR y dentro de cada época del año.
- Las condiciones climáticas de la ELL afectan mayormente a WG50 (mayores valores de HLI, FR y TR).
- Por otra parte, las condiciones climáticas de la ESC afectan mayormente a WG25 (mayores valores de HLI, FR y TS).

REFERENCIAS

- Álvarez, A. (2004). Fisiología de la termorregulación de los vertebrados superiores en su entorno. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Agraria de la Habana (UNAH). La Habana, Cuba. <https://es.scrobd.com/document/60051526/ft>
- Alzina-López, A., Farfán-Escalante, J. C., Valencia-Heredia, E. R., y Yokoyama-Cano, J. (2001). Condición ambiental y su efecto en la temperatura rectal y frecuencia respiratoria en bovinos cruzados (*Bos taurus* x *Bos indicus*) del estado de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 12, 112-121. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2001/bio012d.pdf>
- Berbigier, P. (1989). Effect of heat on intensive meat production in the tropics: cattle, sheep, and goats. In: Memorias del I Ciclo Internacional de Palestras sobre Climatología Animal. Ed. J.R. Mateus Paranhos da Costa Botucatu. FMVZ/UNESP, 1986. Jaboticabal, FUNEP. 1989. Brasil. 130 p.
- Bergerón, R. y Lewis, N. (2002). Transporte, salud y bienestar de los animales de granja. *Revista de Producción Animal*, 178, 4-23.
- Broom, D. (2003). Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethiological and other indicators. *Dtsch Tierärztl Wochenschr*, 110, 83-89. PMID:12731104. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12731104/>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Brown-Brandl, T. M. (2018). Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, e20160414. <http://doi.org/10.1590/rbz4720160414>
- Brown-Brandl, T. M. y Jones, D. D. (2011). Feedlot cattle susceptibility to heat stress: An animal specific model. *Transaction of the ASABE*, 54(2), 673-680. <https://pubag.nat.usda.gov/catalog/2342785>
- De Alencar Nããs, I. (1989). Principios de conforto térmico na produção animal. Icone Editora Ltda. Coleção: Brasil Agrícola. São Paulo, Brasil. <https://www.estantevirtual.com.br/livros/irenilza-de-alencar-nass/principios-de-conforto-termico-na-producao-animal/1474183277>
- Draper, N. R. y Smith, H. (1981). Applied regression analysis. 3rd Edition. John Willey and Sons. New York. USA. <https://wiley.com/en-us/Applied+Regression+Analysis%2C+3rd+Edition-p-9780471170822>
- Dukes, H. H. y Swenson, J. M. (1978). Fisiología de los animales domésticos. 4^a Edición. Editorial Aguilar. Madrid, España. <https://www.berlibro.com/FISIOLOGIA-ANIMALES-DOMESTICOS-Tomo-Funciones-vegetativas/14168823123/bd>
- Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (2018). Hidrometeorología. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. ETESA. https://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S.M., y Lisle, A. (2008). A new load index for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 86, 226-234. <http://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., Josey, M. J., y Rowan, K. J. (1999). Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 77, 2398-2405. <http://doi.org/10.2527/1999.7792398x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Gaughan, J. B., Holt, S. M., Hahn, G. L., Mader, T. L., y Eigenberg, R. (2000). Respiration rate-Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 13, 329-332. <https://www.researchgate.net/publication/4349030>
- Gotoh, T; Takahashi, H., Nishimura, T., Kuchida, K., y Mannen, H. (2014). Meat produced by Japanese Black cattle and Wagyu. *Animal Frontiers*, 4(4), 46-54. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0033>
- Guerra M., P. (2015, marzo). Oportunidades de la raza Wagyu en Panamá. (Conferencia Principal). Día dedicado al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Feria de San José de David, Chiriquí, Panamá.
- Guerra M., P., Bernal R., J. L., De León G., R. H., Carreño, L. A., y Barrios, J. (2008, agosto). Determinación de la tolerancia térmica de novillos Brahman y sus cruces bajo pastoreo en el bosque húmedo tropical. (Resumen de la conferencia). III Congreso Científico de Investigación-Innovación. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Río Hato, Coclé. p.20.
- Guerra M., P., Bernal R., J. L., De León G., R. H., González M., R. A., y Barrios, J. (2012). Tolerancia térmica de novillos en pastoreo a las condiciones ambientales del trópico húmedo del sistema de cría y ceba. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDAP). Boletín Técnico. 20p. <https://www.idiap.gob.pa/download/tolerancia-termica-de-novillos-y-novillas-en-pastoreo-a-las-condiciones-ambientales-del-tropico-humedo-del-sistema-de-cria-y-ceba/?wpdmdl=1746>
- Guerra M., P., De Gracia G., M. S., Quiel B., R. A., De Gracia V., M. M., y Del Cid, I. (2004). Tolerancia térmica de animales Cebú y sus cruces en sistema de ceba en pastoreo en el bosque húmedo tropical. Gualaca, Panamá. 1999-2004. *Ciencia Agropecuaria*, (17), 75-106. <https://www.idiap.gob.pa/download/ciencia-agropecuaria-17-2004/?wpdmdl=951>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Guerra M., P., González M., R. A., Ávila, M. A., Villarreal, A., Quiel B., R. A., Ibarra, O., y De Gracia V., M. M. (2013, abril). Resultados preliminares de la tolerancia al calor de terneros Wagyu y sus cruces bajo pastoreo en el trópico húmedo de Chiriquí, Panamá. (Resumen de presentación de conferencia). 58^{ava} Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. La Ceiba, Atlántida. Honduras. P.131.

Hafez, E. (1972). Desarrollo y nutrición animal. Editorial Acribia. Zaragoza, España. https://www.editorialacribia.com/libro/desarrollo-y-nutricion-anim-al_54244/

Hafez, E. (1973). Adaptación de los animales domésticos. Trd. Palazón, Ramón. Editorial Labor. Barcelona, España. <https://catalogosiidica.csuca-org/Record/UP.213032>

Hahn, G. L., Mader, T. L., Gaughan, J. B., Hu, Q. y Nienaber, J. A. 1999. Heat waves and their impacts on feedlot cattle. p.353-357. In: Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology. Sydney, Australia. <https://catalogue.nla.gov.au/catalog/135979>

Hahn, G. L. y Mader, T. L. (1997). Heat waves in relation to thermoregulation, feeding behavior and mortality of feedlot cattle. Proceedings of the 5th International Livestock and Environment Symposium. American Society of Agricultural Engineering. St. Joseph, MI. <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN020637072/Heat-Waves-in-Relation-to-Thermoregulation-Feeding/>

Hammond, A. C., Olson, T. A., Chase, Jr., C. C., Bowers, E. J., Randel, R. D., Murphy, C. N., Vogt, D. W., y Tewolde, A. (1996). Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *Journal of Animal Science* 74, 295-303. <https://doi.org/10.2527/1996.742295x>. <http://jas.fass.org/content/74/2/295>

Holdridge, L. R. (1979). Ecología basada en zonas de vida. 3rd Ed. Trd. Jiménez Saa, Humberto. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936/BVE19040225e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Livestock Conservation. Inc. LCI. (1970). Patterns of transit losses. Livestock Conservation Inc., Omaha, NE. USA.

Mader T. L., Davis, M. S., y Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(1), 712-719.
<http://doi.org/10.2527/2006.843712x>

Mader, T. L., Davis, S., Gaughan, J., y Brown-Brandl, T. (2004, August). Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. (Meeting Abstract 6B.3). 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology. Vancouver, British Columbia, Canada.
<https://ams.confex.com/ams/AFAPURBBIO/webprogram/Paper77847.html>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (1976). *Livestock hot weather stress*. Operations Manual Letter C-31-76. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). National Weather Service Central Region. Kansas City, MO.

Robertshaw, D. (1985). Heat loss of cattle. In: *Stress Physiology in Livestock*. Basic Principles. Vol. 1. Ed. M.K. Yousef. pp.55-65. CRC Press. Boca Ratón, FL. USA.
<https://doi.org/10.1002/smi.2460020413>

Searle, S. R. (1971). *Linear models*. John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.
<https://doi.org/10.1002/9781118491782>

Suárez P., E., Reza G., G., Díaz A., E., García C., F., Pastrana V., I., Cuadrado C., H., y Espinosa C., M. (2012). Efectos de las condiciones ambientales sobre el comportamiento ingestivo en bovinos de carne en un sistema intensivo en el Valle de Sinú. *Revista CORPOICA – Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13(2), 207212.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<https://scielo.org.com/pdf/ccta/v13n2/v13n2a12.pdf>.

https://doi.org/10.21930/rcta.vo/13_num2_art:257

Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12, 57-59.

<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

Whittow, G. C. (1962). The significance of the extremities of the ox (*Bos taurus*) in thermoregulation. *Journal of Agricultural Science*, 58, 109-120.

<https://doi.org/10.1017/S002185960000887x>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MAPA DIGITAL DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE PANAMÁ¹

José Ezequiel Villarreal Núñez²; Iván Alexis Ramos Zachrisson³

RESUMEN

El objetivo fue elaborar un mapa digital del contenido de carbono orgánico en suelos de Panamá. Se utilizaron 837 registros de perfiles de suelo (0-0,30 m) muestreados entre 2010 y 2015, representativos de toda la República de Panamá y georreferenciados, así como un modelo digital de elevación que generó 34 covariables ambientales, utilizando el Software R y el Sistema de Información Geográfico SAGA. Con SAGA se generaron covariables ambientales a partir del modelo digital de elevación SRTM, para tener características del entorno. Con R se creó un subconjunto estimando la densidad aparente por muestra, el stock de Carbono en kg por m² y otras covariables, generando un nuevo subconjunto de datos. Se utilizaron los mejores cuatro componentes derivados del Modelo Digital de Elevación (MDE) y se definió una fórmula donde el carbono se describe como función de cuatro componentes principales. Se ajustó un modelo lineal generalizado mediante la interpolación regresión Kriging, resultando el mapa de carbono que predice un stock de 308,26 Teragramos de carbono orgánico del suelo en Panamá.

Palabras claves: Componentes principales, covariables, Kriging, Lenguaje R predictores.

¹Recepción: 03 de marzo de 2023. Aceptación: 25 de septiembre de 2023. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) enmarcado en el *Proyecto de Mapas Nacionales de Carbono de la Alianza Mundial por el Suelo*.

²IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria Divisa (CIA Divisa). Doctor en Edafología.

e-mail: jevilla38@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1317-1960>

³IDIAP. CIA Divisa. Licenciado en Programación y Sistemas computacionales.

e-mail: iarz1103@gmail.com



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

DIGITAL MAP OF ORGANIC CARBON CONTENT IN SOILS FROM PANAMA

ABSTRACT

The aim was to develop a digital map of soil organic carbon content of Panama. A total of 837 records of soil profiles (0-0.30 m) obtained between 2010-2015 were used, being representatives of the entire Republic of Panama and georeferenced; as well as a digital elevation model of Panama from which 34 environmental covariates were generated, using the Software R and the SAGA Geographic Information System. With SAGA, environmental covariates were generated from the SRTM digital elevation model, to have environmental characteristics. With the R program, a subset was created estimating the apparent density per sample, the Carbon stock in kg per m² and others covariates, thus generating a new subset of data. The best four components derived from the Digital Elevation Model (DEM) were used and a formula was defined where carbon is described as a function of these four main components. Finally, a model was fitted using Kriging regression interpolation, assuming distribution based on a generalized linear model, giving as a result the carbon map and predicts a stock of 308.26 Teragrams of soil organic carbon in Panama.

Keywords: Covariates, Kriging, main components, predictors, R language.

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo (COS) es el carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de materiales orgánicos, producido por los organismos vivos y puede persistir en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios.

El proceso de mineralización, al ser muy dinámico, puede ocasionar la pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂) o metano (CH₄), siendo emitido nuevamente a la atmósfera, por lo que es clave en el ciclo del carbono y constituye el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) (Acevedo et al., 2021).

La materia orgánica entre sus principales funciones contribuye con el reciclaje de nutrientes, la estabilización de la estructura del suelo, la aireación, productividad, infiltración, humedad y almacenamiento de agua, entre otros aspectos esenciales que



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

garantizan la salud, fertilidad y la producción de alimentos (Ochoa et al., 2007; Cotler et al., 2007; Villarreal-Núñez et al., 2013).

La pérdida de COS es un indicador del grado de degradación del suelo, esto significa que, a mayor contenido de COS, la calidad y salud del suelo serán mayores frente a un suelo que presente un bajo contenido de COS (Loayza et al., 2020).

Este carbono puede ser liberado a la atmósfera si el suelo es trabajado inadecuadamente debido a prácticas agrícolas insostenibles. Algunas de estas prácticas pueden ser el riego y la labranza excesiva, el sobrepastoreo, la compactación, la pérdida de cobertura vegetal, el abuso en la aplicación de pesticidas y fertilizantes, así como a la producción de cultivos sin considerar la aptitud o capacidad del uso del suelo (Cotler et al., 2007).

Por el contrario, mediante prácticas sostenibles de gestión del suelo, que incluyen, la fertilización, riego eficiente y controlado, cobertura orgánica, siembra de cultivos considerando su aptitud natural y la reducción de la labranza, entre otros, el COS puede ser preservado para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y reducir los efectos del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2018).

El suelo es el mayor sumidero de carbono puesto que a 1 m de profundidad secuestra 1417 petagramos de carbono (Pg C), y a los 2 m 2500 Pg C, es decir que almacena aproximadamente dos veces más que la atmósfera (750 Pg C) y la vegetación (560 Pg C) (FAO, 2002; Bert et al., 2005). La capacidad de sumidero de carbono orgánico (COS) de los suelos agrícolas en Panamá y, en general, en el mundo puede verse afectada por las prácticas agropecuarias insostenibles que causan la pérdida del contenido de COS y, por ende, la degradación y erosión de los suelos. La pérdida de COS no solo afecta a la salud y productividad del suelo, sino que, también agrava los efectos del cambio climático. Sin embargo, no existe un conocimiento detallado acerca de la variabilidad espacial o de las emisiones asociadas a cambios de uso y cobertura del suelo (Scharlemann et al., 2014).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La variabilidad espacial y temporal del contenido de COS depende de la interacción de distintos factores formadores de suelo como la topografía, el clima, la vegetación y el uso y manejo de la tierra, así como de otras propiedades fisicoquímicas del suelo (Batjes, 2016).

La cartografía digital ofrece una aproximación flexible para generar predicciones espaciales de COS empleando los datos provenientes de descripciones de perfiles de suelo. Estas bases de datos generalmente son una combinación de diversos muestreos de suelo, de distintas investigaciones en diferentes periodos de tiempo (Minasny et al., 2013; Villarreal et al., 2013).

Actualmente con el apoyo de la FAO se ha creado la Alianza Mundial por el Suelo (AMS) y entre sus actividades está la de crear un mapa mundial de contenido de carbono en el suelo. Panamá no contaba con información al respecto y con el apoyo de datos tomados del Laboratorio de Fertilidad de Suelos del IDIAP y las técnicas digitales de mapeo se realizó este primer cálculo de contenido de carbono de 0 - 0,30 m de profundidad para que sirva como una primera estimación nacional.

El objetivo del trabajo fue elaborar un mapa en formato digital del contenido de carbono orgánico en suelos de Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del mapa de carbono se utilizaron 837 registros de datos obtenidos de perfiles de suelo y barrenas (de 0 a 0,30 m de profundidad) efectuados en el periodo de 2010 a 2015 y registrados en la base de datos del Laboratorio de Suelos del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), georreferenciados en grados decimales y un modelo digital de elevación de Panamá (SRTM) a partir del cual se generaron 34 covariables ambientales.

Se utilizó el software: Lenguaje R versión 3.4.0 y el Sistema de Información Geográfico SAGA. Con SAGA se generaron covariables ambientales a partir del modelo digital de elevación SRTM, para tener características del entorno, posiblemente



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

responsables de las actuales propiedades del suelo, buscando estimar el mapa de carbono con menos incertidumbre. Con el programa R se analizó los datos, eliminando registros incompletos y creando un subconjunto que tuviera solo las columnas o campos necesarios.

Para este subconjunto, se estimó la densidad aparente por muestra, se calculó el almacén o stock de Carbono en kg m^2 y se concatenaron todas las covariables, creando así un nuevo subconjunto de datos. Luego fue convertido a puntos espaciales, se le asignó el Sistema de Coordenadas de Referencia de las covariables (CRS) y se recortó a los límites de nuestro país, con lo que se obtuvo la matriz para los cálculos.

Una correlación entre las covariables (posibles predictores) y el Carbono, permitió observar que existen muchos predictores parecidos entre sí (redundantes), por lo que se utilizó el método de componentes principales. Se utilizaron los mejores cuatro componentes derivados del Modelo Digital de Elevación (MDE) y fue definida una fórmula donde el carbono se puede describir como una función de esos cuatro componentes principales. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$\text{COS}_{\text{reserva}} = p * \text{DA} * (\text{C}_{\text{total}} - \text{C}_{\text{mineral}}) * \text{FC}_{\text{pd}}$$

Donde: COS = reserva de COS (kgm^2)

Ctotal y Cmineral = Contenido total y mineral (o inorgánico) de C (gg^{-1}) a considerar para suelos calcáreos y así la combustión seca ocurre normalmente a altas temperaturas (de lo contrario Ctotal = Cmineral)

P = profundidad del horizonte

DA = Densidad aparente (kgm^{-3})

FC = Factor de corrección de pedregosidad (1 - % piedras/100)

Finalmente, se ajustó un modelo mediante la interpolación regresión Kriging, asumiendo una distribución Gaussiana basada en un modelo lineal generalizado. Convertido a imagen tipo Raster se obtuvo el mapa digital predictivo de COS en suelos de Panamá.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se elaboró un mapa para mostrar la localización y distribución aproximada de los 837 datos de COS obtenidos en trabajos realizados previamente por el IDIAP y almacenados en la base de datos del Laboratorio de Fertilidad de Suelos del IDIAP (Figura 1).

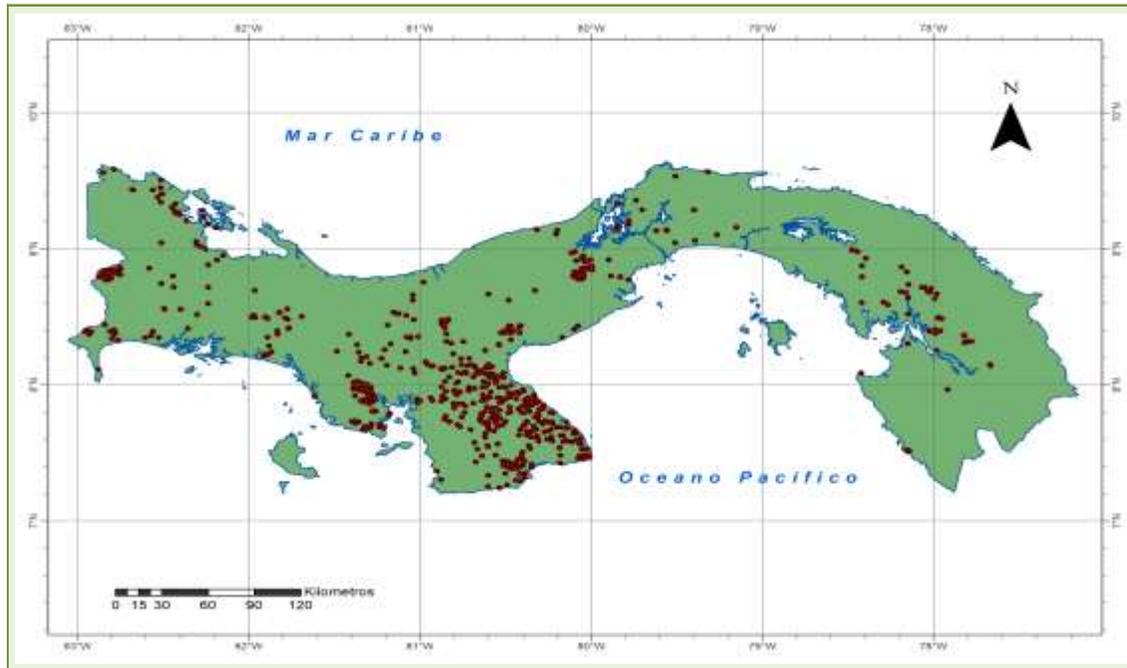


Figura 1. Puntos donde fueron muestreados los suelos para elaborar el mapa. Panamá, 2010-2015.

Para predecir el COS con la mayor exactitud se correlacionaron 34 covariables ambientales. Obteniéndose correlaciones positivas entre el COS con covariables relacionadas con precipitación ($r^2 > 0,78$), topografía (pendiente del terreno y elevación) ($r^2 > 0,69$; $> 0,72$, respectivamente), radiación potencial ($r^2 > 0,53$), sensoramiento remoto basado en índice de vegetación ($r^2 > 0,51$) y correlaciones negativas entre COS y evapotranspiración ($r^2 > -0,62$), variabilidad espacial ($r^2 > -0,55$) y variables relacionadas con la temperatura ($r^2 > -0,59$) siguiendo la metodología empleada por Guevara et al. (2018).

Se encontró que los suelos de Panamá tienen una reserva total de 308 Tg de COS, lo que considerando la extensión territorial de Panamá (75,512 km²), representa aproximadamente 4,08 t km⁻² (Figura 2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El mapa muestra que la región conocida como tierras altas hacia la frontera con Costa Rica, con suelos de origen volcánico, posee la mayor reserva de COS en el país y sigue a través de la cordillera central (Figura 2). Igualmente, se puede apreciar elevadas reservas en la cuenca del Canal de Panamá, en Darién, frontera con Colombia, que posee una gran reserva forestal, sin embargo, las zonas agrícolas ubicadas en la región central del país presentan baja reserva de COS.

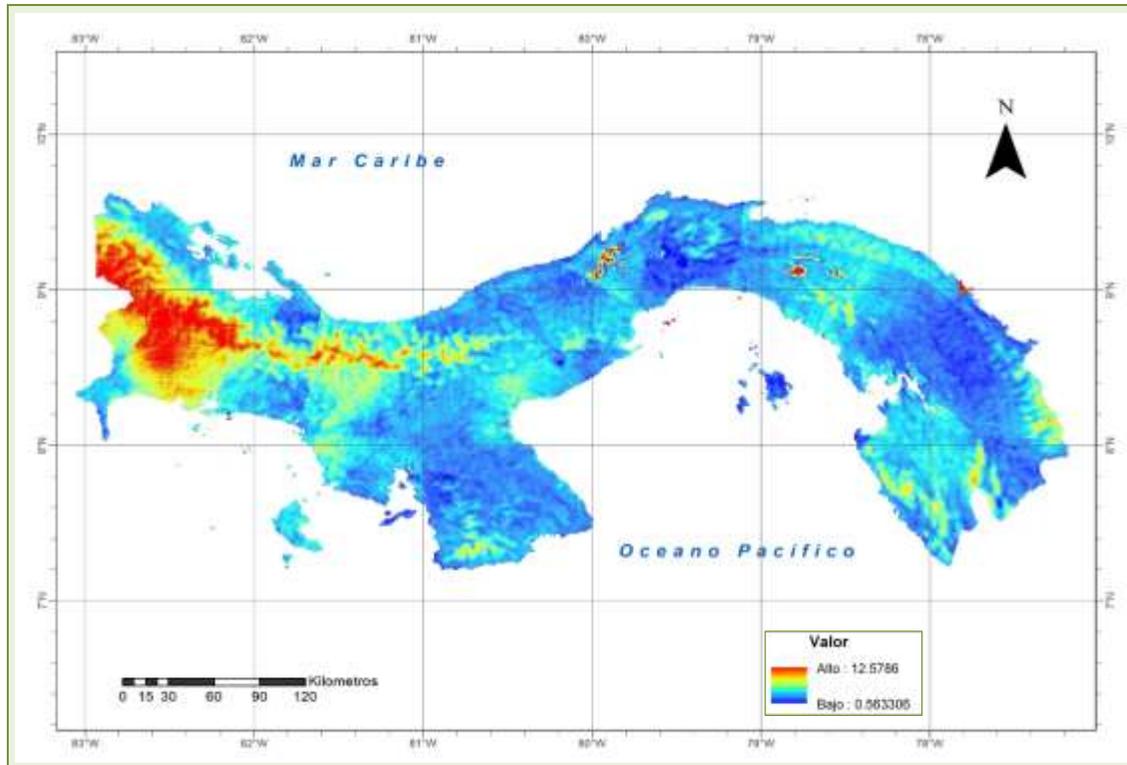


Figura 2. Mapa de contenido de carbono orgánico de suelos de Panamá.

La zona central del país se caracteriza por tener suelos ácidos en su mayoría pertenecientes al orden ultisol, pobres en materia orgánica, pH ácido a muy ácido. Además, es una zona donde se práctica la ganadería y agricultura extensiva. Con pocas excepciones, son suelos mal manejados sometidos a la acción de monocultivos, quemadas constantes, mal uso de los agroquímicos, aplicación de pocas prácticas de conservación de suelos (Villarreal et al., 2013).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La mayor reserva de COS se localiza en los suelos de origen volcánico, en la región denominada de Tierras Altas en la provincia fronteriza con Costa Rica (Figura 2). Estos suelos poseen una capa orgánica profunda comparado con el resto del país (Villarreal et al., 2013), sin embargo, reciben un manejo con prácticas poco apropiadas, como dosis excesivas de agroquímicos, malas prácticas de preparación y casi nulo empleo de prácticas de conservación de suelos (Herrera et al., 2021). Sin embargo, se puede notar, en la actualidad, el surgimiento de movimientos y agrupaciones de productores que practican una agricultura más ecológica ayudando a conservar sus suelos, minimizando las pérdidas por erosión, consecuentemente mejorando la calidad de sus cosechas (Santamaría y González, 2017).

En algunas áreas del país muy alejadas o montañosas, representados como zonas con mayor incertidumbre coinciden con las áreas donde no se pudo tomar muestras o que cuentan con una baja representatividad. Lugares como la península de Azuero, Chiriquí y la región central de Panamá, aparecen con una baja incertidumbre, por la alta representatividad del muestreo (Figura 3).

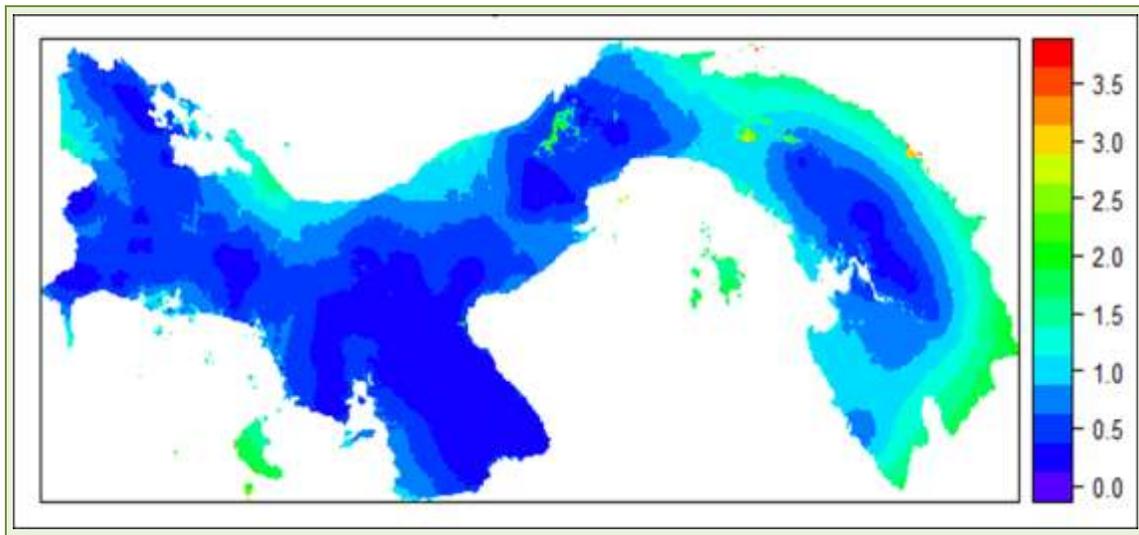


Figura 3. Mapa de incertidumbre o error.

Respecto a la incertidumbre el mapa resultante indica que el error fue bajo ($< 0,5$) en aquellas zonas donde se contaba con un mayor número de muestras representativas de suelo, como por ejemplo el caso de la región de Azuero, Veraguas, Chiriquí, Panamá



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Oeste. Por el contrario, fue más elevado ($> 2,0$ a $2,5$) en áreas de difícil acceso como la frontera de Panamá con la República de Colombia, la Comarca Guna Yala, isla de Coiba, norte de la Comarca Ngäbe Buglé, donde el volumen de muestras representativas era muy bajo o casi nulo (Figura 3).

En general el 85% de las zonas productivas (zona central y occidental del país, cuenca del Canal de Panamá) estuvo bien representada. Según Vargas et al. (2017) la cuantificación de la incertidumbre en las estimaciones de reserva de COS debe considerarse como prioritaria para evitar sesgos, subestimaciones y sobreestimaciones en los cálculos.

Este trabajo arroja información importante para facilitar la formulación de políticas públicas relacionadas con estrategias de mitigación del Cambio Climático y manejo sostenible del recurso suelo.

La información suministrada representa un primer paso para recomendar un uso racional del suelo en áreas muy afectadas por sequías, zonas vulnerables al cambio climático o suelos muy degradados por el uso constante y mal manejo. A la vez, para propiciar leyes e incentivos que estimulen a los productores al empleo de prácticas agroecológicas en sus suelos de tal manera que se pueda ir recuperando su capa orgánica y mejorando las propiedades biológicas, físicas y químicas de estos.

CONCLUSIONES

- El mapa predictivo de contenido de carbono orgánico del suelo de la República de Panamá es un logro muy importante, realizado con el apoyo de la Alianza Mundial por el Suelo de la FAO.
- Este mapa ofrece información valiosa para los tomadores de decisiones, al igual que para investigadores, estudiantes y técnicos agrícolas y ambientales que deseen planificar la recuperación de zonas degradadas e incentivar prácticas agroecológicas de conservación de suelos en el país.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Representa un primer esfuerzo para estimar las existencias de COS de 0 a 0,30 m en Panamá.

REFERENCIAS

- Acevedo, I., Sánchez, A., y Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depression de Quibor. I. Análisis multivariado. *Bioagro*, 59, 59 - 66. <http://www.doi.org/10.51372/bioagro331.7>
- Batjes, N. H. (2016). Harmonized soil property values for broad-scale modelling (WISE30sec) with estimates of global soil carbon stocks. *Geoderma*, 269, 61 - 68. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.034>
- Bert, M., Ogunlade, D., Coninck, H., y Loos, M. (2005). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Grupo Intergubernamental de Expertos (IPCC), Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Cambridge University Press, 66pp. <https://www.ipcc.ch › 2018/03 › ar4-wg3-spm-sp>. Consultado el 01 de marzo de 2022
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos como un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, 5 - 71.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la Tierra*. World Soil Resources Reports 96. Roma, Italia. 61 pp. <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap). Technical Report. Roma, Italia. 162 pp. <http://www.fao.org/3/I8891 EN/i8891en.pdf>
- Guevara, M., Olmedo, G. F., Stell, E., Yigini, Y., Agiolar, Y., Hernández, C. A., Arévalo, G. E., Arroyo-Cruz, C. E., Bolívar, A., Bunning, S., Bustamante, N., Cruz-Gaistardo, C. O., Dávila, F., Acqua, D., Encina, A., Figueredo H., Fontes, F., Hernández, J. A.,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Ibelles, A. R., Loayza, V., Manueles, A. M., Mendoza F., Olivera, C., Osorio, R., Pereira, G., Prieto, P., Ramos, I. A., Rey, J. C., Rivera, R., Rodríguez-Rodríguez, J., Roopnarine, R., Rosales, A., Rosales, K. A., Schulz, G. A., Spence, A., Vasquez, G. M., Vargas, R. R. y Vargas, R. (2018). *No Silver Bullets on Digital Soil Mapping: Country Specific Soil Organic Carbon Estimates across Latin America*. SOIL, 4, 173-193. <https://doi.org/10.5194/soil-4-173-2018>

Herrera, R., Collantes, R., Caballero, M. y Pittí, J. (2021). Caracterización de fincas hortícolas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 23 (4), 200-209. DOI: [10.18271/ria.2021.329](https://doi.org/10.18271/ria.2021.329)

Minasny, B., McBratney, A. B., Malone, B. P., y Wheeler, I. (2013). Digital mapping of soil carbon. *Advances in Agronomy* 118, 1 - 47. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.890437>

Loayza, V., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., Oyonarte, C., y Jiménez, W. (2020). Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas*, 29(1), 1852. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1852>

Scharlemann, J. Tanner, E., Hiederer, R., y Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1), 81-91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>

Ochoa, V., Hinojosa, B., Gómez-Muñoz, B. y García-Ruiz, R. (2007). Actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas ecológicos. *Ini. Inv.* 2, 1-10.

Santamaría, J. y González, G. (2017). La agroecología en Panamá.: su contribución a la sostenibilidad de modos de vida y a la persistencia de la agricultura familiar. *Agroecología*, 10 (2), 29-38. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300801>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Villarreal, J. E., Name, B. y Espino, R. A. (2013). Zonificación de suelos de Panamá en base a niveles de nutrientes. *Ciencia Agropecuaria*, N°21, 71-89.

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/184>

Villarreal-Núñez, J., Pla-Sentis, I., Agudo-Martínez, L., Villalaz-Pérez, J., Rosales, F. y Pocasangre, L. (2013). Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 301-315.

https://www.academia.edu/52122541/%C3%8Dndice_de_calidad_del_suelo_en_%C3%A1reas_cultivadas_con_banano_en_Panam%C3%A1



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

***Eciton burchellii* WESTWOOD, 1842 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: DORYLINAE):
PLAGA DE LOS APIARIOS Y ALTERNATIVAS DE MANEJO¹**

***Rubén D. Collantes G.²; Ruth J. Del Cid A.³;
Luisa D. Reina P.⁴; Alonso Santos-Murgas⁵***

RESUMEN

Las hormigas legionarias, soldado o marabunta, son los nombres comunes con los cuales se les conoce a varias especies de la Subfamilia Dorylinae (Hymenoptera: Formicidae), destacando la especie *Eciton burchellii* Westwood, 1842. Existen múltiples reportes en América sobre afectaciones que estas hormigas ocasionan en los apiarios. En Panamá, productores beneficiarios del Proyecto de Investigación e Innovación Apícola (PIIAP), reportaron ataques causados por estos insectos. El propósito del presente trabajo es desarrollar una revisión sistemática sobre aspectos relevantes de *E. burchellii*, como los daños que ocasiona en las colmenas y las alternativas de manejo disponibles. Para ello, se consultaron 53 fuentes literarias, abordando aspectos fundamentales como la clasificación taxonómica, biología, ecología, daños que ocasiona, manejo del apiario, entre otros. Los resultados reflejaron que *E. burchellii* está presente desde México hasta Suramérica y en Panamá se le ha encontrado en varias localidades donde interviene el PIIAP. El comportamiento legionario de esta hormiga ocurre frecuentemente en época lluviosa y es una adaptación para depredar en grupo; pudiendo darse casos en los cuales se module dicha actividad en función de la depredación especializada. Son insectos voraces, capaces de acabar con una colmena en muy poco tiempo. Entre las alternativas de manejo se tienen el uso de plantas repelentes como neem e interrumpir los caminos por los cuales transitan las hormigas. Como recomendación, debe inspeccionarse periódicamente el apiario y evitar derramar miel durante la cosecha, para no atraer estas y otras posibles plagas.

Palabras claves: Apicultura, *Eciton*, hormigas soldado, marabunta, plantas repelentes.

¹Recepción: 18 de julio de 2023. Aceptación: 31 de agosto de 2023. Proyecto IDIAP: Investigación e Innovación Apícola en Panamá.

²Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Estación Experimental de Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. Ph.D. Agricultura Sustentable. e-mail: rdcg31@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

³IDIAP, Subcentro de Ollas Arriba, Panamá Oeste, Panamá. M.Sc. Ciencias Ambientales. e-mail: ruthdelcida07@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7917-7663>

⁴IDIAP, Subcentro de Buena Vista, Colón, Panamá. Licenciada en Administración de Empresas Agropecuarias. e-mail: luisa16.lpa@gmail.com

⁵Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá. Ph.D. Biología. e-mail: santosmurgasa@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9339-486X>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

***Eciton burchellii* WESTWOOD, 1842 (HYMENOPTERA: FORMICIDAE: DORYLINAЕ): PEST OF APIARIES AND MANAGEMENT ALTERNATIVES**

ABSTRACT

Legionary ants, soldier ants or marabunta, are the common names by which several species of the Dorylinae Subfamily (Hymenoptera: Formicidae) are known, highlighting the species *Eciton burchellii* Westwood, 1842. There are multiple reports in America about the effects of these ants they occur in apiaries. In Panama, beneficiary beekeepers of the Apiculture Research and Innovation Project (PIIAP) reported attacks caused by these insects. The purpose of this work is to develop a systematic review on relevant aspects of *E. burchellii*, such as the damage it causes in hives and the management alternatives available. For this, 53 literary sources were consulted, addressing fundamental aspects such as taxonomic classification, biology, ecology, damage caused, apiary management, among others. The results showed that *E. burchellii* is present from Mexico to South America and in Panama it has been found in various locations where the PIIAP intervenes. The legionary behavior of this ant occurs frequently in the rainy season and is an adaptation to prey in groups; There may be cases in which said activity is modulated based on specialized predation. They are voracious insects, capable of ending a hive in a very short time. Management alternatives include the use of repellent plants such as neem and interrupting the paths through which ants travel. As a recommendation, the apiary should be inspected periodically and avoid spilling honey during the harvest, so as not to attract these and other possible pests.

Keywords: Beekeeping, *Eciton*, marabunta, repellent plants, soldier ants.

INTRODUCCIÓN

La apicultura es una actividad que puede contribuir de manera significativa con la sostenibilidad de los agroecosistemas productivos, en la medida en que exista un intercambio enriquecedor y participativo entre el conocimiento tradicional-local y la ciencia; a fin de que se constituyan mecanismos institucionalizados y formales (Wolff y Gomes, 2015; Collantes et al., 2023a). Según cifras del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), se cuenta con unos 400 apiarios en Panamá (Lara, 2023). Por su parte, el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), sitúa las necesidades y demandas de los productores y la sociedad, como norte de los esfuerzos a ejecutar en materia investigativa; como es el caso del Proyecto de Investigación e Innovación Apícola de Panamá (PIIAP)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá [IDIAP], 2022a) y el Proyecto de Innovación Agropecuaria Sostenible e Incluyente (PIASI) (IDIAP, 2022b).

Se realizó un diagnóstico participativo de la apicultura en Panamá por Collantes y Del Cid (2022a), identificando como retos a superar la mejora del manejo sanitario, desarrollar más investigación e innovación y generar capacidades. En respuesta a ello, el PIIAP ha generado material divulgativo sobre los principales artrópodos plagas que afectan los apiarios (Collantes y Del Cid, 2022b), segmentos periodísticos para ilustrar a la sociedad panameña sobre la importancia de la apicultura (Mosquera, 2023), entre otros estudios (Collantes et al., en prensa). Adicionalmente, el PIIAP tiene contemplado a futuro desarrollar investigación sobre abejas sin aguijón (Meliponini), grupo del cual su miel es apreciada social, cultural y económicamente (Yaacob et al., 2018).

Otra plaga importante para los apiarios de *Apis mellifera* L. son las hormigas legionarias (Figura 1), también llamadas hormigas soldado o marabunta (Hymenoptera: Formicidae: Dorylinae); de las cuales destaca la especie *Eciton burchellii* Westwood, 1842. Los rasgos de comportamiento y reproductivos (nomadismo, forrajeo colectivo obligado y reinas altamente especializadas), han permitido que estos insectos se conviertan en los principales cazadores de los trópicos, como consecuencia de un proceso evolutivo complejo (Brady, 2003).



Fuente: National Geographic España (2020).

Fuente: El Entomólogo (2018).

Figura 1. *Eciton burchellii*: A) Mandíbulas.; B) Puente de hormigas para atacar panal de *Polistes* sp.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Adicionalmente, la combinación de poliandria y variación genética para la determinación de castas puede haber facilitado la evolución de la diversidad de castas de trabajadores en algunos linajes de insectos sociales como *E. burchellii* (Jaffé et al., 2007). Armadas con mandíbulas fuertes y una picadura dolorosa, a diferencia de otros insectos sociales, sus nidos se desplazan para poder satisfacer el apetito voraz de las larvas, siendo un peligro también para artrópodos (como otros Hymenoptera), anfibios, reptiles y aves (Roberts, 2016; Breed y Moore, 2022). Una posible explicación de esto la dan McKenzie et al. (2021), dado que *E. burchellii* y sus parientes poseen modificaciones en el sistema quimiosensorial que pueden estar involucradas para coordinar el comportamiento y la selección de presas durante la depredación social.

Eciton burchellii, además de ser plaga de los apiarios de *Apis mellifera* L., 1758 también afecta a *Melipona beecheii* Bennett, 1831 (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) según Uchin (2021). Nilipour (2016), indicó que la meliponicultura es una práctica ancestral desarrollada por varios grupos indígenas, siendo los mayas los mayores exponentes. La periodista entrevistó a investigadores de Meliponini en Panamá, quienes explicaron cómo la introducción de abejas africanizadas procedentes de Brasil en la década de 1980, la creciente deforestación y el cambio climático son factores que han afectado la apicultura y la supervivencia de polinizadores nativos.

El Smithsonian Tropical Research Institute (STRI, 2023b), reporta otras especies de *Melipona* en Panamá, como *M. fallax* en las provincias de Colón y Coclé, de *M. insularis* en Isla Coiba y *M. fasciata* en la Isla Barro Colorado; Collantes et al. (2023b), encontraron el género *Tetragona* en Bocas del Toro. Adicionalmente, algunos apicultores están desarrollando de manera incipiente la meliponicultura, en complemento con la crianza de *A. mellifera*, porque conocen los beneficios para la salud que brinda el consumo de esta miel. Sin embargo, se han recibido reportes de las áreas de intervención del PIIAP (Figura 2), sobre afectaciones por hormigas legionarias, por lo que el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una revisión sistemática sobre *E. burchellii*, abordando aspectos como los daños que ocasionan en las colmenas y las alternativas de manejo disponibles.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

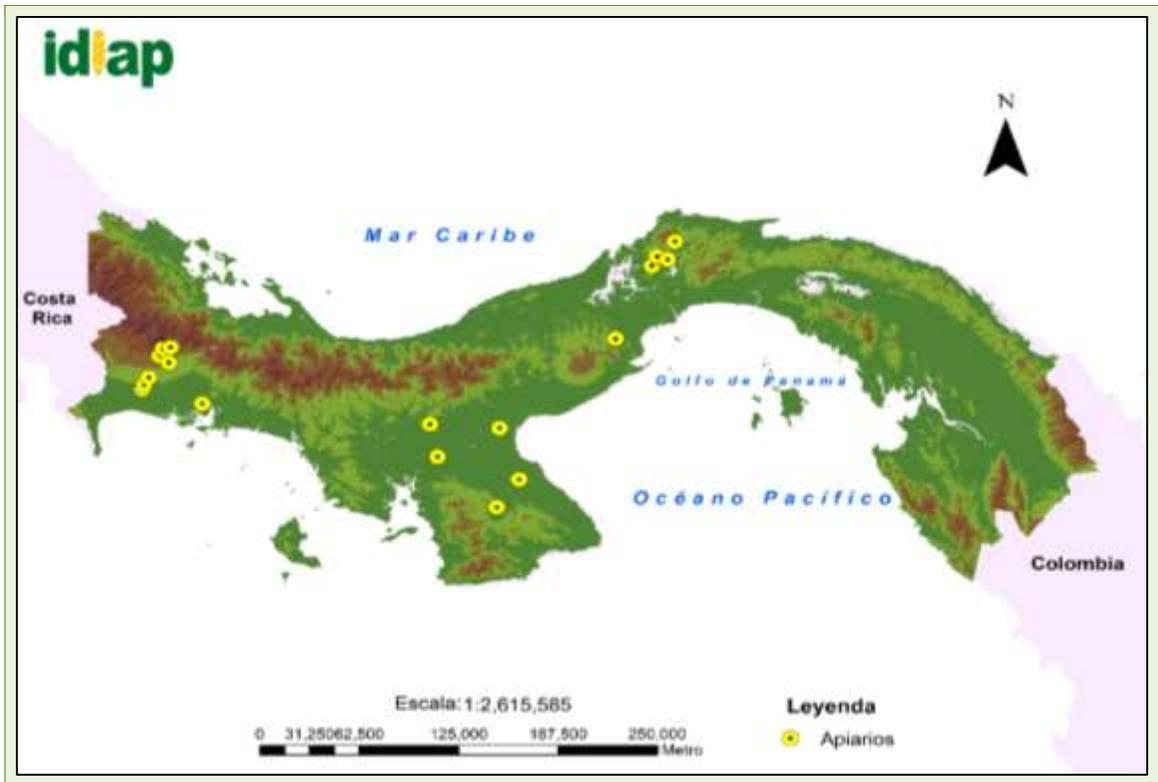


Figura 2. Reportes de ataques por hormigas legionarias en Panamá.

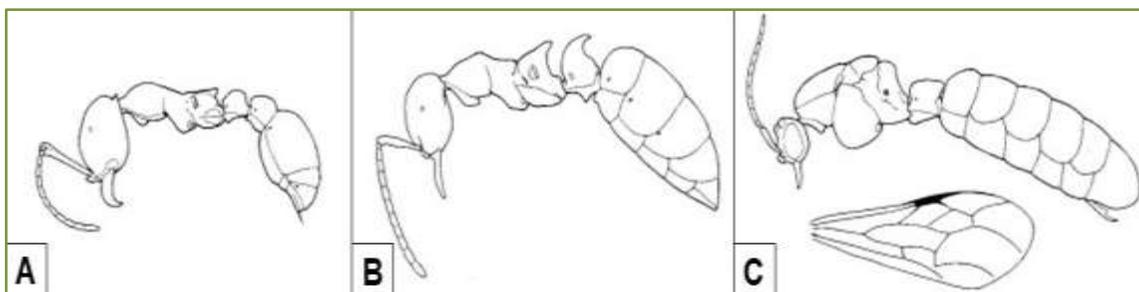
DESARROLLO

Distribución, taxonomía, morfología, biología y ecología de *Eciton burchellii*

Se tienen 27 géneros y 756 especies descritas de Dorylinae (Borowiec, 2016; Bolton, 2023), pero se estima que deben existir en el mundo cerca de 1000 especies, siendo diversas también en hábitos de depredación y anidación (arbórea o terrestre). Estas hormigas legionarias son un grupo monofilético de depredadores que ocurren en las regiones tropicales y subtropicales, siendo en muchos casos depredadoras de otras especies de insectos sociales como abejas, avispas, hormigas y termitas, así como de Collembola; generando impactos considerables en la biota funcional por su agresividad y capacidad de invadir nichos, destacando la tribu Ecitonini (Silvestre et al., 2003; Borowiec, 2016), en la cual como en otros insectos sociales, se tienen castas diferenciadas (Figura 3).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Fuente: Bolton et al. (2003).

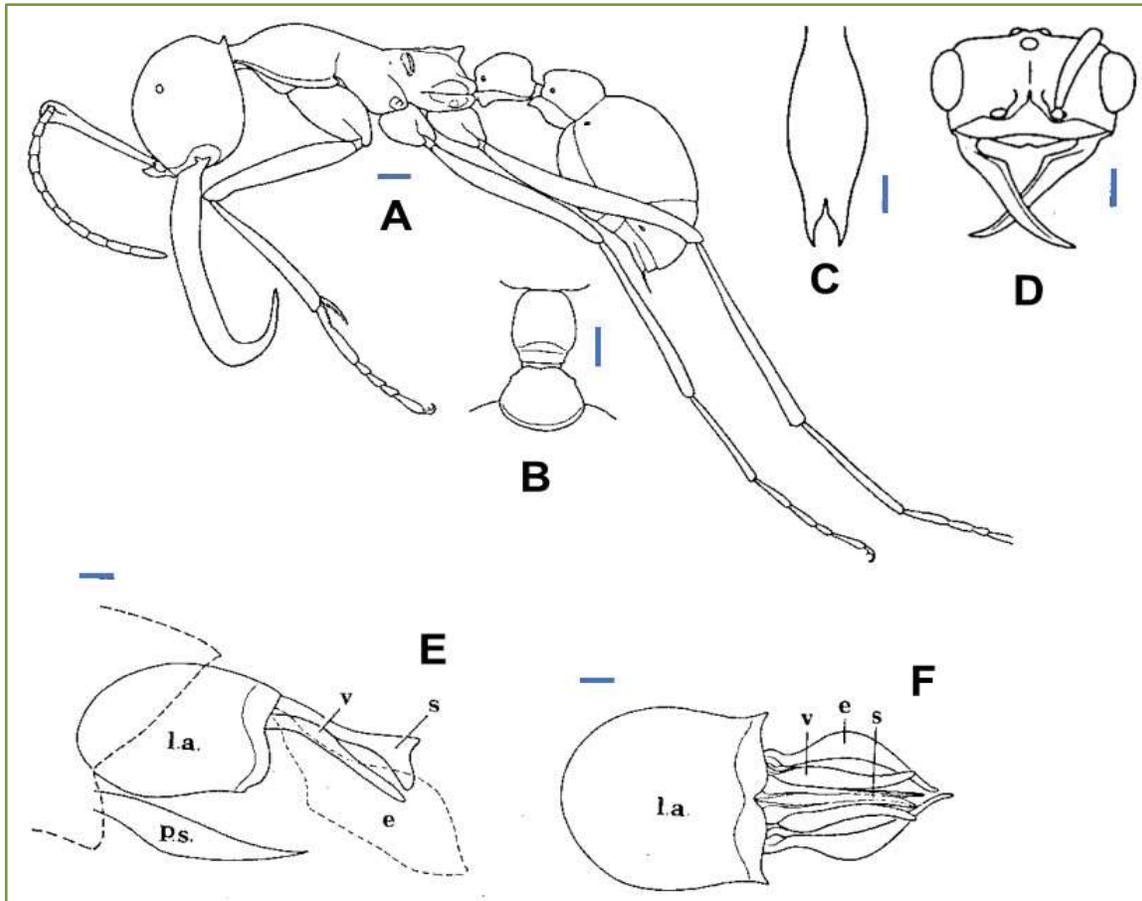
Figura 3. Hábitos de Eciton: A) Obrera; B) Hembra; C) Macho y ala.

Las hormigas legionarias se encontraban clasificadas en las subfamilias Aenictinae (con más de 50 especies en la región Indo-australiana y algunas especies en África y Europa), Dorylinae (con un número similar de especies en África y algunos países de Asia y Europa) y Ecitoninae (presentes en el neotrópico con cinco géneros y más de 150 especies); todas estas ubicadas en la sección Dorylina, como parte del complejo Poneroidae, de acuerdo con Palacio (1999). Por su parte, Fernández y Palacio (2003), compendiaron algunas de las sinapomorfías que separaban a Ecitoninae de otras subfamilias como Dorylinae y Aenictinae; sin embargo, Borowiec (2016), desarrolló una revisión completa de Dorylinae, situando a todos estos taxa, en la misma subfamilia; incluyendo al género *Eciton*, del cual destaca la especie *E. burchellii* Westwood, 1842 (Figura 4), ampliamente distribuida en América.

Si bien en otros grupos de hormigas se pueden observar comportamientos como nomadismo y depredación en grupo, lo que llama la atención de las hormigas legionarias es cómo alternan estas etapas durante su ciclo de vida; además de que factores como las feromonas, la precipitación y la temperatura pueden (en cierta medida), influenciar en el desplazamiento y desarrollo físico del insecto (Califano y Chaves-Campos, 2011; Baudier y O'Donnell, 2018). Palacio (1999), ilustró este aspecto en detalle (Figura 5), para el caso de *E. burchellii*, una de las especies de hormiga legionaria más estudiada (Holldöbler y Wilson, 1990), junto con *E. hamatum*.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



e = estipe; la = lámina anularis; ps = placa subgenital; s = ságita; v = volsela. Escala = 0,5 mm.

Fuente: Adaptado de Palacio (1999).

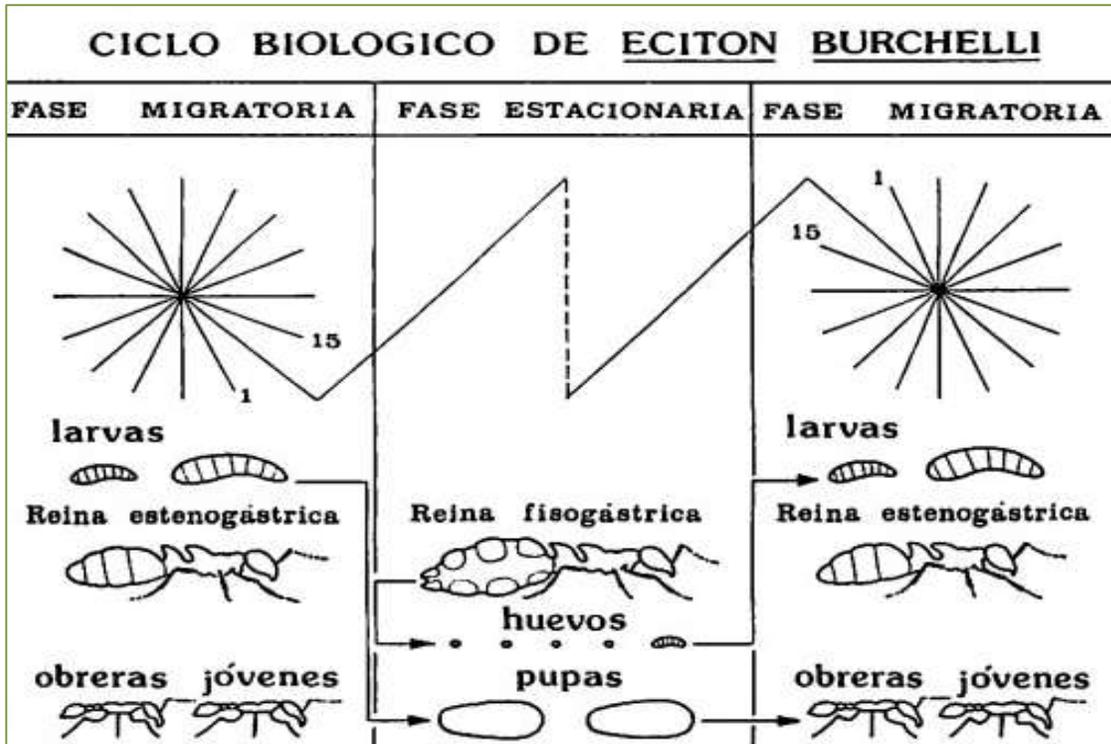
Figura 4. *Eciton burchellii*: A) Hábito de obrera; B) Pedicelo de soldado; C) Placa subgenital del macho; D) Cabeza en vista frontal; E) Genitalia del macho en vista lateral; F) Genitalia del macho en vista dorsal.

La fase migratoria inicia con la emergencia de obreras jóvenes, periodo que puede durar aproximadamente dos semanas, y en el cual, la reina contrae su abdomen (estenogástrica) para facilitar su movilización, y entre 25 y 100 mil nuevas obreras satisfacen las necesidades de alimento y recién apoyan con la cacería de presas a partir de la segunda mitad de la fase migratoria. En la fase estacionaria, que dura casi tres semanas, la reina expande su abdomen (fisogástrica), para hacer crecer la colonia hasta más de 200 mil individuos (Powell y Franks, 2007), pero como la mayoría están en etapa de pupa, las incursiones en búsqueda de alimento son a corta distancia. Lo anterior es



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

posible porque la reina en esta etapa coloca hasta 30 mil huevos por día (Pestnet, 2022); razón por la cual es necesario desarrollar métodos confiables que permitan estimar la densidad de las colonias (Vidal-Riggs y Chaves-Campos, 2007).



Fuente: Palacio (1999).

Figura 5. Ciclo de vida de *Eciton burchellii*, en el cual las fases migratorias y estacionarias se alternan con mucha precisión.

En cuanto a la cópula, Kronauer et al. (2006), encontraron que, si bien las reinas de *E. burchellii* tienen una frecuencia de apareamiento alta (mayor que en otros Hymenoptera sociales), la acumulación inicial de espermatozoides en el órgano de almacenamiento de espermatozoides de la reina es más determinante que las inseminaciones repetidas.

Respecto a enemigos naturales de *E. burchellii*, *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793), es una especie africana introducida en América, la cual es agresiva y ha logrado contrarrestar a las legiones de *E. burchellii*, dado que ambas especies no formaron parte de un proceso coevolutivo, correspondiendo a un tipo de subproducto debido a su



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

agresividad durante la defensa de las colonias (Dejean y Corbara, 2014). Adicionalmente, Maes y McKay (s.f.), indicaron que las especies *Euxenister wheeleri* Mann, 1925 y *Pulvinister nevermanni* Reichensperger, 1933 (Coleoptera: Histeridae), están reportados como enemigos naturales de *E. hamatum*; por lo cual también podrían ser enemigos naturales de otros Ecitonini. Por otro lado, muchos organismos utilizan productos químicos para disuadir a los enemigos, como las arañas del género *Nephila* (presentes en los trópicos), las cuales modifican la composición de la telaraña para evitar que hormigas depredadoras trepen por las mismas (Knowlton y Kamath, 2018).

Impactos que ocasiona *Eciton burchellii*

Entre las especies de hormigas, conocidas también como Xulab en la península de Yucatán, que atacan con frecuencia a las abejas, está *E. burchellii*, la cual, al ser atraída por la miel, es capaz de devorar larvas y pupas de las abejas, pudiendo destruir la colmena en poco tiempo (Ramos-Díaz et al., 2016; Uchin, 2021). Según la base de datos de STRI (2023a), *E. burchellii* está presente en Panamá, en las provincias de Darién, Panamá, Panamá Oeste, Colón, Coclé y Chiriquí; siendo las cuatro últimas zonas importantes donde se desarrolla la apicultura.

Por otro lado, Riquett (2023), entrevistó al Dr. Fernando Fernández, Mirmecólogo colombiano que explicó que el nombre del género *Eciton* es un tributo a los periodistas (porque la etimología se originó de leer *notice* al revés). Además, el especialista precisó que estas hormigas también desempeñan un rol importante en el control biológico natural de plagas, razón por la cual son apreciadas en las comunidades indígenas. Riquett (2023), presentó como beneficios adicionales de las hormigas en general la aireación del suelo, dispersión de semillas, servir de alimento para otros animales como osos hormigueros y aves (Sainz-Borgo, 2015), establecen excelentes relaciones mutualistas con otros organismos animales y vegetales (Palacio, 1999; Rettenmeyer et al., 2011; Atencio-Valdespino et al., 2022) e influyen significativamente en la dinámica ecológica de los entornos boscosos. Sobre esto último, Soare et al. (2014; 2019), señalaron que el paisaje tiene un efecto importante en la dispersión y flujo genético de *E. burchelli*, por lo que se recomienda preservar la conectividad entre zonas boscosas (para evitar una dispersión de sexos sesgada), mediante corredores sombreados (Meisel, 2006). Por su parte, O'Donnell



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

y Baudier (2023), indicaron que las diferencias en comportamiento y fisiología entre las colonias de insectos sociales como *E. burchellii* brindan oportunidades para respuestas evolutivas a la selección ambiental.

Alternativas de manejo de las hormigas legionarias

Lo primero a tomar en consideración en este apartado es el monitoreo constante y mantener las condiciones higiénicas en las colmenas. De acuerdo con Uchin (2021), se debe evitar derramar miel durante la cosecha, porque puede atraer tanto a las hormigas legionarias como a otros insectos no deseados como cucarachas. Esta misma recomendación aplicaría al momento de utilizar jarabe como suplemento dietético.

Por tanto, un manejo deficiente del apiario predispone el surgimiento de este y otros problemas sanitarios, afectando la nutrición de la colmena y alterando la capacidad de regulación de la temperatura y humedad (Servicio Agrícola y Ganadero [SAG], 2018). Adicionalmente, las alteraciones climáticas impactan en la oferta floral disponible y, por ende, en el comportamiento de las abejas; razón por la cual otra estrategia de manejo sería la selección de colmenas más robustas. Esto concuerda con lo propuesto por Airahuacho y Rubina (2021), quienes indicaron que como estrategia para el manejo de plagas como *Varroa destructor* Anderson y Trueman, 2000 (Acari: Varroidae), la selección de colmenas con buen comportamiento higiénico que, mediante acciones específicas reducen afectaciones por plagas.

Generalmente para el control de *E. burchellii* y otras hormigas agresivas se tienen cebos tóxicos, los cuales son ingeridos y transportados hacia la colmena (Blades of Green, 2021). Otra práctica que ha dado resultados es interrumpir el camino por donde transitan las hormigas removiendo suelo y quemando ramas como antorchas; sin embargo, una alternativa más amigable con los usuarios y con el ambiente es el uso de plantas repelentes, como Chaka (*Bursera simaruba*), Guayaba (*Psidium guajava*), Neem (*Azadirachta indica*), Nabanché (*Elaphrium graveolens*), Tok'aban' (*Pluchea odorata*) y Ruda (*Ruta chalapensis*), las cuales, debido a su particular olor, pueden disimular el de la miel de abeja (Uchin, 2021).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Entre los métodos que algunos apicultores panameños suelen emplear para el control de las hormigas, se tiene el uso de latas o recipientes plásticos abiertos y rellenos con aceite de motor usado, dentro de los cuales se colocan las patas de las colmenas o en su lugar, también se aplica grasa en las mismas patas, para evitar el tránsito de las hormigas hacia la colmena; similar a lo empleado por apicultores de la Península de Yucatán, México (Ayala, 2001). Sin embargo, lo observado en campo por parte del equipo técnico del PIIAP es similar al ejemplo ilustrado en la Figura 1B, dado que estos insectos son capaces de formar puentes con sus propios cuerpos para facilitar de modo eficiente la obtención de recursos (Brunelle, 2011).

CONCLUSIONES

- Las hormigas legionarias, particularmente la especie *E. burchellii*, son un riesgo potencial para la apicultura y meliponicultura en Panamá; considerando la amplia distribución del insecto, los reportes recibidos durante la realización del estudio en zonas de intervención del PIIAP, las condiciones climáticas cada vez más cambiantes y la necesidad por desarrollar mejores alternativas de manejo apícola.
- Es necesario diseñar y validar sistemas de trampas utilizando insecticidas de origen natural que replacen los típicos productos sintéticos, pero que, mediante una formulación apropiada, logren potenciar la eficacia de estas sustancias y que a la vez sean seguras para los seres humanos y otros animales.
- Se espera continuar apoyando tanto a productores apícolas como a la sociedad en su conjunto, mediante capacitaciones y reforzamiento técnico que facilite la comprensión de estos animales sociales, los cuales son capaces de impactar significativamente en los agroecosistemas. Es menester seguir investigando a nivel nacional y regional sobre este taxón tan interesante, en especial en materia de métodos de manejo sostenibles.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

REFERENCIAS

- Airahuacho, F. y Rubina, S. (2021). *Varroa destructor*: una amenaza mortal para la colmena de *Apis mellifera*. *Peruvian Agricultural Research*, 3(1), 40-51. <https://doi.org/10.51431/par.v3i1.664>
- Atencio-Valdespino, R., Collantes-González, R., Jaén, M. y Aguilera-Cogley, V. (2022). Inventory of arthropods associated with cashew (*Anacardium occidentale* L.) in Panama. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42, 3661-3669. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00882-8>
- Ayala, M. (2001). La apicultura de la Península de Yucatán: un acercamiento desde la ecología humana. [Tesis de Maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I. P. N. – Mérida, Yucatán, México]. 196 p. <https://www.mda.cinvestav.mx/FTP/EcologiaHumana/maestria/tesis/01TesisAyalaME01.pdf>
- Baudier, K. y O'Donnell, S. (2018). Complex body size differences in thermal tolerance among army ant workers (*Eciton burcheilii parvispinum*). *Journal of Thermal Biology*, 78, 277-280. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.10.011>
- Blades of Green. (2021). *How to Identify & Get Rid of Army Ants*. Lawn Care – Pest Control. <https://www.bladesofgreen.com/lawn-care/pests/learn-about-army-ants/>
- Bolton, B. (2023). *Taxonomic history*. En AntWeb v8.91.2., Subfamily: Dorylinae. <https://www.antweb.org/description.do?subfamily=dorylinae&rank=subfamily>
- Bolton, B., Palacio, E. y Fernández, F. (2003). Morfología y glosario. En F. Fernández (ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical, Capítulo 14* [pp. 221-231]. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32961/978-958-8151-23-6.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Borowiec, M. (2016). Generic revision of the ant subfamily Dorylinae (Hymenoptera, Formicidae). *Zookeys*, (608), 1-280. <https://doi.org/10.3897%2Fzookeys.608.9427>
- Brady, S. (2003). Evolution of the army ant syndrome: The origin and long-term evolutionary stasis of a complex of behavioral and reproductive adaptations. *PNAS*, 100(11), 6575-6579. <https://doi.org/10.1073/pnas.1137809100>
- Breed, M. y Moore, J. (2022). Comparative Social Behavior. En M. Breed y J. Moore (eds.), *Animal Behavior, Third Edition, Chapter 14* [pp. 489-530]. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819558-1.00014-2>
- Brunelle, D. (2011). Bridge building and foraging efficiency in the army ant *Eciton burchellii*. *Tropical Ecology and Conservation [Monteverde Institute]*, 76. https://digitalcommons.usf.edu/tropical_ecology/76
- Califano, D. y Chaves-Campos, J. (2011). Effect of trail pheromones and weather on the moving behaviour of the army ant *Eciton burchellii*. *Insect. Soc.* 58, 309-315. <https://doi.org/10.1007/s00040-010-0140-z>
- Collantes, R. y Del Cid, R. (2022a). *Artrópodos plaga de las abejas (Apis mellifera L.)*. Proyecto de Investigación e Innovación Apícola de Panamá. IDIAP, Centro de Innovación Agropecuaria de Recursos Genéticos, Río Hato. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.31127.65443>
- Collantes, R. y Del Cid, R. (2022b). Diagnóstico participativo de la apicultura en Panamá. *Peruvian Agricultural Research*, 4(2), 87-92. <http://dx.doi.org/10.51431/par.v4i2.796>
- Collantes, R., Del Cid, R., Reina, L. D. y García, M. (en prensa). Detección preliminar de *Varroa jacobsoni* y su relación con factores climáticos en Panamá. *Peruvian Agricultural Research*, 5(2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Collantes, R., Del Cid, R., Santos-Murgas, A. y Atencio, R. (2023a). Importancia de los insectos polinizadores en la sostenibilidad de los agroecosistemas productivos. *Revista Semilla del Este*, 3(2), 8-26. https://revistas.up.ac.pa/index.php/semilla_este/article/view/3755

Collantes, R., Ramos, D., Muñoz, J., Quintero, N. y Santos-Murgas, A. (2023b). Artrópodos asociados a Musáceas en la Región Occidental de Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (37), 160-176. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/621>

Dejean, A. y Corbara, B. (2014). Reactions by army ant workers to nestmates having had contact with sympatric ant species. *Comptes Rendus Biologies*, 337, 642-645. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crv.2014.05.004>

El Entomólogo. (11 de agosto 2018). WHATOP. *Ataque de hormigas legionarias a un panal de avispas*. ENTOMOLOGÍA. [Archivo de Video] Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=WpKxmPFsUnY>

Fernández, F. y Palacio, E. (2003). Sistemática y filogenia de las hormigas: breve repaso a propuestas. En F. Fernández (ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical, Capítulo 1* [pp. 29-44]. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32961/978-958-8151-23-6.pdf>

Hölldöbler, B. y Wilson, E. O. (1990). *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-10306-7>

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2022a). *Investigación e Innovación apícola en Panamá. Iniciativas y Proyectos*. <https://proyectos.idiap.gob.pa/proyectos/investigacion-innovacion-apicola-panama/es>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2022b). *Proyecto de Innovación Agropecuaria Sostenible e Incluyente. Iniciativas y Proyectos*. https://proyectos.idiap.gob.pa/proyectos/innovacion_productiva_sostenible_sistema_s_produccion_agricultura_familiar_panama/es

Jaffé, R., Kronauer, D. J. C, Bernhard, K. F., Boomsma, J. J. y Moritz, R. F. A. (2007). Worker caste determination in the army ant *Eciton burchellii*. *Biol. Lett.*, 3513-516. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0257>

Knowlton, E. y Kamath, A. (2018). Ants Do Not Traverse the Silk of Adult Female *Nephila clavipes* (Linnaeus) Webs. *Neotrop Entomol*, 47, 780-785. <https://doi.org/10.1007/s13744-018-0631-6>

Kronauer, D. J. C., Berghoff, S. M., Powell, S., Denny, A. J., Edwards, K. J., Franks, N. R. y Boomsma, J. J. (2006). A reassessment of the mating system characteristics of the army ant *Eciton burchellii*. *Naturwissenschaften* 93, 402-406. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0121-2>

Lara, K. (2023). *Diagnostican limitantes del rubro apícola local*. Panamá América. <https://www.panamaamerica.com.pa/economia/diagnostican-limitantes-del-rubro-apicola-local-1217828>

Maes, J. M. y Mackay, W. (s.f.). *Familia Formicidae*. Fauna Entomológica de Nicaragua. <http://www.bio-nica.info/Ento/Hymeno/FORMICIDAE.htm>

Meisel, J. (2006). Thermal Ecology of the Neotropical Army Ant *Eciton Burchellii*. *Ecological Applications*, 16(3), 913-922. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[0913:TEOTNA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[0913:TEOTNA]2.0.CO;2)

McKenzie, S. K., Winston, M. E., Grewe, F., Vargas Asensio, G., Rodríguez-Hernández, N., Rubin, B. E. R., Murillo-Cruz, C., von Beeren, C., Moreau, C. S., Suen, G., Pinto-Tomás, A. A. y Kronauer, D. J. C. (2021). The genomic basis of army ant



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

chemosensory adaptations. *Molecular ecology*, 30(24), 6627-6641.
<https://doi.org/10.1111/mec.16198>

Mosquera, J. (7 de julio 2023). Las abejas, héroes polinizadores. Mundo Verde. *TVN Noticias*. https://www.tvn-2.com/mundo-verde/video-mundo-verde-abejas-heroes-polinizadores_8_2064423.html

National Geographic España. (2020). *Las hormigas guerreras comen de todo | National Geographic en Español*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=EkJYMXqx2ac>

Nilipour, L. (2016). *La miel de palo, práctica ancestral que se extingue*. La Estrella de Panamá. https://www.laestrella.com.pa/cafe-estrella/cultura/161225/miel-palo-practica-extingue-ancestral#google_vignette

O'Donnell, S. y Baudier, K. (2023). Significant colony differences in thermal tolerances and decoupling of high and low critical temperatures in the army ant *Eciton burchellii parvispinum*. *Ecological Entomology*, 1-5. <https://doi.org/10.1111/een.13258>

Palacio, E. (1999). Hormigas Legionarias (Hymenoptera: Formicidae: Ecitoninae) de Colombia. En G. Amat, M. Andrade y F. Fernández (eds.), *Insectos de Colombia, Volumen II, Capítulo V* [pp. 117-189. <http://accefyn-repositorio.metabiblioteca.org/handle/001/43>

Pestnet. (2022). *Army Ants*. <https://www.pestnet.com/ants/army-ants/>

Powell, S. y Franks, N. (2007). How a few help all: living pothole plugs speed prey delivery in the army ant *Eciton burchellii*. *Animal Behaviour*, 73(6), 1067-1076. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.11.005>

Ramos-Díaz, A., Cano-Sosa, J., Uc-Várquez, A., García-Muñoz, Y. y Koyoc-Canche, A. (2016). Etapas de la producción de miel. En A. Ramos-Díaz y N. Pacheco-López (eds.), *Producción y comercialización de miel y sus derivados en México: desafíos y*



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

oportunidades para la exportación, Capítulo II [pp. 42-53]. CIATEJ / CONACYT, Mérida – México. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f243ecb97f89.pdf

Rettenmeyer, C. W., Rettenmeyer, M. E., Joseph, J. y Berghoff, S. M. (2011). The largest animal association centered on one species: the army ant *Eciton burchellii* and its more than 300 associates. *Insect. Soc.* 58, 281-292. <https://doi.org/10.1007/s00040-010-0128-8>

Riquett, S. (2023). *Colonias del tamaño de una casa: lo que no sabía de las hormigas de Colombia*. Colombia Visible. <https://colombiavisible.com/colonias-del-tamano-de-una-casa-lo-que-no-sabia-de-las-hormigas-colombianas/>

Roberts, D. (2016). Two species of tanagers (Passeriformes: Thraupidae) forage on army ant workers (*Eciton burchellii*) carrying immature paper wasps. *The Wilson Journal of Ornithology*, 128(3), 653-656. <http://dx.doi.org/10.1676/1559-4491-128.3.653>

Servicio Agrícola y Ganadero. (2018). Manual de Gestión Productiva-Sanitaria y de Buenas Prácticas Apícolas. Ministerio de Agricultura, Departamento de Sanidad Animal – División de Protección Pecuaria. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/manual_gestion_productiva-sanitaria_apicola-sag-2018.pdf

Sainz-Borgo, C. (2015). Note: Consume of workers of *Eciton burchellii* (Hymenoptera: Formicidae) by several bird species in urban conditions. *Ecotropicos* 28(1-2), 38-42. https://www.researchgate.net/publication/309285408_NOTE_CONSUME_OF_WORKERS_OF_ECITON_BURCHELLII_HYMENOPTERA_FORMICIDAE_BY_SEVERAL_BIRD_SPECIES_IN_URBAN_CONDITIONS

Silvestre, R., Brandão, C. y Da Silva, R. (2003). Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. En F. Fernández (ed.), *Introducción a las hormigas de la región Neotropical*, Capítulo 7 [pp. 113-148].



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32961/978-958-8151-23-6.pdf>

Soare, T., Kumar, A., Naish, K. y O'Donnell, S. (2014). Genetic evidence for landscape effects on dispersal in the army ant *Eciton burchellii*. *Molecular Ecology*, 23(1), 96-109. <http://dx.doi.org/10.1111/mec.12573>

Soare, T., Kumar, A., Naish, K. y O'Donnell, S. (2019). Multi-year genetic sampling indicates maternal gene flow via colony emigrations in the army ant *Eciton burchellii parvispinum*. *Insect. Soc.* 67, 155-166. <https://doi.org/10.1007/s00040-019-00739-3>

Smithsonian Tropical Research Institute. (2023a). *Eciton burchellii*. Panama Biota. <https://panamabiota.org/stri/taxa/index.php?tid=48523>

Smithsonian Tropical Research Institute. (2023b). *Melipona*. Panama Biota. <https://panamabiota.org/stri/taxa/index.php?tid=37905&clid=0&pid=1&taxauthid=1>

Uchin, A. (2021). *Manejo tradicional de la abeja de los pueblos mayas (Melipona beecheii)*. The Nature Conservancy Ka Kuxtal Much' Meyaj, México. https://www.tncmx.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/mexico/Manejo_tradicional_de_la_abeja_de_los_pueblos_mayas.pdf

Vidal-Riggs, J.M. y Chaves-Campos, J. (2007), Method Review: Estimation of Colony Densities of the Army Ant *Eciton burchellii* in Costa Rica. *Biotropica*, 40, 259-262. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00347.x>

Wolff, L. y Gomes, J. (2015). Beekeeping and Agroecological Systems for Endogenous Sustainable Development. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39(4), 416-435. <http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2014.991056>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Yaacob, M., Rajab, N. F., Shahar, S. y Sharif, R. (2018). Stingless bee honey and its potential value: a systematic review. *Food Research*, 2(2), 124-133. [http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.2\(2\).212](http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.2(2).212)

AGRADECIMIENTOS

A los productores colaboradores y al equipo técnico del PIIAP, por el apoyo brindado en todas las etapas desarrolladas en el proyecto. Al M. Sc. Juan Carlos Di Trani (Universidad Autónoma de Yucatán), al MBA Hans Hammerschlag (Advanced Biocontrollers, S. A.), a la M. Sc. Charoline Gutiérrez (MIDA), al Ingeniero Rafael González (Cítricos, S. A.) y al Técnico Apícola Carlos Candanedo (Universidad de Panamá), por atender las consultas realizadas sobre la materia. A la Alta Gerencia del IDIAP, por el respaldo genuino y constante a las iniciativas desarrolladas en el marco del PIIAP.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración por ninguna otra revista (o se ha proporcionado una explicación al respecto en los Comentarios al editor/a).
- El archivo de envío está en formato OpenOffice y Microsoft Word.
- Siempre que sea posible, se proporcionan direcciones DOI o URL para las referencias.
- El texto tiene interlineado a espacio y medio; 11 puntos de tamaño de fuente arial; se utiliza cursiva en lugar de subrayado (excepto en las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas se encuentran colocadas en los lugares del texto apropiados, en vez de al final.
- El texto se adhiere a los requisitos estilísticos y bibliográficos resumidos en las [Directrices del autor/a](#), que aparecen en Acerca de la revista.

A. NORMAS GENERALES

La revista Ciencia Agropecuaria publica artículos científicos originales realizados en cualquier área de las ciencias agropecuarias.

Los escritos deben ser redactados en español y enviados vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa (solicitar confirmación de lectura). La presentación en otro idioma deberá ser consultada previamente con el editor principal de la revista. Deben ser de interés para un público especializado, redactados en prosa científica y comprensible al lector.

Los trabajos que ingresan a la revista son revisados, evaluados, que cumplan con el formato establecido (formato de revisión). Una vez ajustados al formato de la revista, son enviados a especialistas (revisión de pared) y con dos dictámenes positivos se acepta la incorporación del trabajo al índice en curso.

Aquellos trabajos que no se ajusten a las normas para autores y formato de revisión (disponibles en: <http://www.idiap.gob.pa/download/formato-de-revision/?wpdmdl=916>) serán devueltos a los autores para los respectivos ajustes, antes de ser considerados para evaluación y los aceptados serán publicados bajo el entendimiento de que el material presentado es original e inédito, siendo los autores los únicos responsables por la veracidad y exactitud de las afirmaciones y datos

presentados. Además, la revista provee acceso libre inmediato a su contenido en el principio de que hacer disponibles gratuitamente investigaciones al público apoya a un mayor intercambio de conocimiento global.

Los trabajos deben enviarse vía correo electrónico a cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa y su envío debe incluir carta de presentación del artículo, el documento, formato de revisión, declaración de inédito, aprobación de los autores y de las instituciones participantes mencionadas en el documento.

Todos los trabajos deben incluir título, autores, resumen y palabras claves, tal como se describen en el artículo.

Los trabajos deben ser preparados en el procesador de texto Microsoft Word, en letra arial, tamaño 11, a espacio y medio. Márgenes superior e inferior de 2,5 cm (1 pulgada) e izquierdo y derecho de 3,05 cm (1,2 pulgadas) y un máximo de 25 páginas.

Los nombres científicos deben ser escritos en cursiva, mayúscula inicial para el género y la especie en minúscula; para la familia se debe escribir en regular o normal (en Word) con mayúscula inicial. Las abreviaturas y signos redactados con base en el Sistema Internacional de Unidades (SI), también llamado Sistema Internacional de Medidas, usado internacionalmente y basado en el sistema métrico decimal.

Los cuadros y figuras (gráficos, dibujos, esquemas, diagramas) se presentan en secuencia lógica de acuerdo al texto. Adicional, deben aparecer en archivos aparte en original y las fotos en formato JPG o TIF. El tamaño de la fuente igual que el texto en negrita. Los cuadros y leyendas de las figuras deben ser enumerados en arábigo por orden de referencia en el texto.

Citación

La literatura citada se basa en la norma implementada por la Normas APA (7^a ed.) para la estructuración de la lista de referencias bibliográficas.

Sánchez, C. (11 de diciembre de 2019). Actualizaciones en la 7ma (séptima) edición de las Normas APA. *Normas APA (7ma edición)*. <https://normas-apa.org/introduccion/actualizaciones-en-la-7ma-septima-edicion-de-las-normas-apa/>

Generalidades

- Evitar el uso de referencias de datos no publicados, ya que no se encuentran con la disponibilidad para los lectores que deseen acceder a esas fuentes.
- Las referencias bibliográficas en el texto deben aparecer citadas en idioma español independiente del idioma de origen de la fuente.
- En la literatura cita las referencias deben redactarse de acuerdo con el idioma de origen de la misma.

- No se aceptan referencias bibliográficas que tengan más de diez años de antigüedad, a menos que sea indispensable o sea trabajos clásicos que mantienen su vigencia en el tiempo.
- Evitar más de tres citas para apoyar una idea o información.
- Las citas en el texto según APA la cita parentética menciona separando con una coma el apellido del primer autor del año; si son dos autores el apellido de cada autor va separado por “y”, finalmente cuando se trata de referencias con más de dos autores, se menciona el apellido del primer autor seguido de “et al.”.

Ejemplos:

Tipo de autor	Cita parentética	Cita narrativa
Un autor	(Fernández González, 2010)	Fernández González (2010)
Dos autores	(Echeita y Serrano, 2019)	Echeita y Serrano (2019)
Tres o más autores	(Blanco et al., 2019)	Blanco et al. (2019)
Autor corporativo o institucional con siglas <ul style="list-style-type: none"> • Primera cita • Citas sucesivas 	(Organización Mundial de la Salud [OMS], 2016) (OMS, 2016)	Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016) OMS (2016)
Autor corporativo o institucional sin siglas	(Colegio Oficial de la Psicología de Madrid, 2020)	Colegio Oficial de la Psicología de Madrid (2020)

Casos especiales:

- Citas múltiples de un mismo autor y fecha: (Rodríguez, 2007a) o Rodríguez (2007b)
- Autores con apellidos iguales (se incluye la inicial del nombre): (J.M. Taylor, 2015; T. Taylor, 2014)
- Traducciones: (Piaget, 1966/2000) o Piaget (1966/2000)

Citas textuales:

En este tipo de citas debemos incluir autor, año y número de página/s. Si el trabajo no está paginado indicar sección o párrafo en el que se encuentra la información.

- Menos de 40 palabras: introducir en el texto la información entrecomillada.
- Más de 40 palabras: introducir la información en párrafo aparte con margen de 5 espacios y sin utilizar comillas.
- Cita textual extraída de una página: (Blanco et al., 2019, p. 252)
- Cita textual extraída de más de una página: (Blanco et al., 2019, p. 252-253)
- Cita textual sin numeración de página: (Blanco et al., 2019, párr. 3)

Redactar referencias en APA

Libro en papel

Echeita, G., y Serrano, G. (2019). Educación inclusiva: el sueño de una noche de verano. Octaedro.

Libro electrónico

Pichardo Galán, J., y Stéfano Barbero, M. (Eds.). (2015). *Diversidad sexual y convivencia: una oportunidad educativa*. Universidad Complutense de Madrid. http://eprints.ucm.es/34926/1/Diversidad_y_convivencia_2015_FINAL.pdf

Capítulo de libro

Gilmartín, M. A. (2008). Ambientes escolares. En J. A. Aragonés y M. Amérigo (Eds.), *Psicología ambiental* (pp. 221-237). Pirámide.

Entrada en diccionario o enciclopedia

American Psychological Association. (n.d.). Educational Psychology. En *APA dictionary of psychology*. Recuperado 26 Junio, 2020, de <https://dictionary.apa.org/educational-psychology>

Artículo de revista en papel

Rodríguez, C. (2007). God's eye does not look at signs. Early development and semiotics. *Infancia y Aprendizaje*, 30(3), 343-374.

Artículo de revista electrónica

- Artículo de revista con paginación y doi

Blanco, M., Veiga, O. L., Sepúlveda, A. R., Izquierdo-Gomez, R., Román, F. J., López, S., y Rojo, M. (2019). Ambiente familiar, actividad física y sedentarismo en preadolescentes con obesidad infantil: estudio ANOBAS de casos-controles. *Atención Primaria*, 52(4), 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2018.05.013>

- Artículo de revista con identificador electrónico (eLocator)

Buring, D., Kilteni, K., Rabuffetti, M., Slater, M., y Pia, L. (2019). Body ownership increases the interference between observed and executed movements. *PLOS ONE*, 14(1), Article e0209899. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209899>

Comunicación en Congreso

Alonso-Vega, J., Álvarez-Iglesias, A., Ávila-Herrero, I., y Froxán-Parga, M. X. (2019, junio 18). *Verbal interaction analysis of the intervention to an adult with severe behavioral problems* [Presentación de póster]. XVI European Congress of Psychology, Moscú, Rusia. <https://doi.org/10.26226/morressier.5cf632bbaf72dec2b055469e>

Legislación

Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. *Boletín Oficial del Estado*, 295, de 10 de diciembre de 2013, 97858-97921. <http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/10/pdfs/BOE-A-2013-12886.pdf>

Test

Wechsler, D. (2005). *Escala de inteligencia de Wechsler para niños-IV (WISC-IV): Manual técnico y de interpretación*. TEA

Página web

Organización Mundial de la Salud. (2016, Abril). *Preguntas y respuestas sobre los trastornos del espectro autista (TEA)*. <https://www.who.int/features/qa/85/es/>

Tesis doctoral o trabajo académico

Fernández González, A. (2010). La inteligencia emocional como variable predictora de adaptación psicosocial en estudiantes de la Comunidad de Madrid [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid]. Biblos-e Archivo. <http://hdl.handle.net/10486/4872>

Audiovisuales

TED. (2018, Septiembre 24). *Paolo Bortolameolli: ¿Por qué nos emociona la música?* [Vídeo]. YouTube. <https://youtu.be/ulDYtj8kQUs>

Redes Sociales

- Perfil de Twitter

APA Style [@APA_Style]. (n.d.). *Tweets* [Perfil de Twitter]. Twitter. Recuperado Junio 19, 2020, de https://twitter.com/APA_Style

- Tweet

APA Education [@APAEducation]. (2018, Junio 29). *College students are forming mental-health clubs-and they're making a difference @washingtonpost* [Imagen con enlace adjunto] [Tweet]. Twitter. <https://twitter.com/apaeducation/status/1012810490530140161>

- Página de Facebook

Colegio Oficial de la Psicología de Madrid. (n.d.). *Home* [Página de Facebook]. Facebook. Recuperado Junio 19, 2020, de <https://es-es.facebook.com/Colegio-Of-de-la-Psicolog%C3%ADa-de-Madrid-155367554511985/>

No debe incluir lo siguiente:

Hay algunos tipos de trabajos que no deben ser incluidos en la lista de referencias. Por lo general, la razón por la cual no se incluye un trabajo es porque los lectores no podrán recuperarlo o porque la mención es tan amplia que los lectores no necesitan una entrada en la lista de referencias para comprender el uso.

Menciones generales de páginas web completas, publicaciones periódicas completas no requieren citas en el texto o entradas en la lista de referencias porque el uso es amplio y la fuente es familiar.

Las comunicaciones personales como correos electrónicos, llamadas telefónicas o mensajes de texto se citan solo en el texto, no en la lista de referencias, porque los lectores no pueden recuperar las comunicaciones personales.

Las frases o mensajes de eventuales entrevistados en la investigación pueden ser presentadas y discutidas en el texto, pero no necesitan citas ni entradas en la lista de referencias. En este caso, no es necesario una cita y su respectiva referencia porque las frases son parte de su investigación original. Además, también podrían comprometer la confidencialidad de los participantes, lo cual es una violación ética.

La fuente de una dedicatoria generalmente no aparece en la lista de referencias a menos que el trabajo sea un libro o revista académica. Por ejemplo, si agregas al comienzo de tu documento una cita inspiradora de un famoso, la fuente de la cita no aparece en la lista de referencia porque la cita está destinada a establecer el escenario para el trabajo, y no para justificar un punto clave.

Formato

La lista de referencias debe iniciar en una nueva página separada del texto. El título de esta página debe ser "Referencias" y debe estar centrado en la parte superior de la página. La palabra Referencias debe ir en negrita.

Las referencias deben estar organizada en orden alfabético de acuerdo con el apellido y las iniciales del nombre del primer autor.

Recordar: Debe redactar lo que desea resaltar de la información y luego presentar la cita, igual para los cuadros, figuras e imágenes. Los artículos que mencionen productos químicos, deberán hacerlo por el nombre genérico o ingrediente activo.

B. NORMAS ESPECÍFICAS

1. ARTÍCULOS

Se estructurará de la siguiente forma: Título (español e inglés), autores (afiliación, dirección, correo electrónico en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, bibliografía, cuadros y figuras. Extensión máxima de 25 páginas, incluyendo cuadros, figuras, fotos y referencias.

1. **Título:** En mayúscula cerrada y centrado, debe expresar en 15 palabras el contenido, las materias y conceptos clave. Se proporcionará en español e inglés. Indicar en pie de página si fue tesis, proyecto, entre otros.
2. **Autores:** Debe indicar el nombre completo y sus dos apellidos sin abreviar y separados por un guion, centrado, después del título, se indicarán en orden, primer autor e indicar en el pie de página la afiliación de cada autor, Institución o Compañía en la que labora (nombre completo y siglas entre paréntesis), dirección o correo electrónico y en caso de contar con el apartado postal incluirlo.
3. **Resumen:** En español e inglés. Debe ser breve y evitar exceder de 5% (aproximadamente 250 palabras) del texto principal Incluye el objetivo de la investigación, método experimental, los resultados más importantes y las conclusiones. El resumen debe ser lo suficientemente explícito para que el lector obtenga un conocimiento exacto del contenido. Esto es esencial para el resumen en inglés.

4. **Palabras claves:** Un máximo de cinco palabras, pueden ser compuestas, y las mismas, deben permitir identificar la temática y evitar repetir las palabras del título.
5. **Introducción:** Debe ser breve y contendrá los antecedentes más importantes o relevantes de la investigación, el estado actual del tema objeto de la investigación, la problemática (alcances y limitaciones) y las razones por las cuales se hizo el planteamiento. Debe redactar lo que desea resaltar de la información y luego presentar la cita, igual para los cuadros y figuras.
6. **Materiales y métodos:** Se expondrá de forma concisa, los materiales utilizados y la metodología. Se deberá presentar los detalles necesarios para que el lector interesado pueda repetir la parte experimental, con indicación de sobre los datos agro meteorológicos, diseño y métodos de análisis estadísticos empleados. Para los procedimientos ya descritos en la literatura, deben ser citados y sólo se aceptará la mención de modificaciones sustanciales.
7. **Resultados y discusión:** Se dan a conocer los datos obtenidos más importantes. Estos deben presentarse en la forma más concisa posible, (si es necesario se utilizarán subtítulos, si son varios los factores que intervinieron en el estudio). Las figuras y cuadros deben ser elementos de apoyo a los resultados y no deben repetir la información que aparece en el texto. Los promedios y señalamientos de diferencias significativas deben acompañarse de las indicaciones de la variación relativa y probabilidad alcanzada. En la discusión de resultados se señalan las relaciones entre los hechos observados. Debe indicarse el significado de los hechos, las causas, los efectos e implicaciones.
8. **Conclusiones:** En esta sección se presentan los hechos significativos en forma clara y lógicamente. Las conclusiones deben dar respuesta a los objetivos descritos en la introducción.
9. **Referencias:** Se incluirá sólo la literatura citada tomando en cuenta la Norma APA (7ª) para la estructuración de la lista de referencias bibliográficas y se acepta con un mínimo de 10 citas.
10. **Agradecimiento:** (Opcional) Para efecto de reconocimiento del autor a personas e instituciones que hayan colaborado en la información del manuscrito, sus nombres deberán presentarse en esta sección.

2. NOTAS CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS

1. **Notas científicas:** Serán considerados aquellos escritos basados en aspectos experimentales, investigaciones terminadas o en curso, de cualquier tipo, que presenten un aspecto metodológico novedoso, con resultados que el autor decida comunicar, en este estilo, por considerarlo importante.
2. **Notas técnicas:** Serán considerados aquellos escritos que presenten: (1) Descripción de una nueva técnica de producción; (2) Estudios preliminares de caracterización de nuevos criterios de selección; (3) Resultados o logros sobresalientes de un programa (4) Temas de interés, científico y tecnológico. Se estructurará de igual forma que el artículo: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en

español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, Referencias, cuadros y figuras. Extensión máxima de 10 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo e incluyendo cuadros, figuras y referencias bibliográficas. Los cuadros no deberán ser más de 3.

3. COMUNICACIONES CORTAS

Las comunicaciones cortas son reportes de significado, urgencia e interés, pero deben contener resultados preliminares relevantes. Una extensión máxima de 10 páginas en Word. La introducción debe indicar la urgencia, el significado o el interés extraordinario de la información, lo cual ayudará al cuerpo editorial en la aceptación o rechazo de la comunicación. No debe ser estructurada de la misma manera que un artículo, debe contener una introducción breve sobre el tema y los resultados más importantes. Si se describe un trabajo sintético, se debe agregar suficiente material suplementario con el fin de quien lo desee pueda replicar la metodología.

Incluir: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés.

4. ENSAYOS Y REVISIONES BIBLIOGRÁFICAS

Se estructurarán de la siguiente forma: Título (español e inglés), autores (identificación y lugar de trabajo en pie de página), resumen y palabras claves en español e inglés, introducción, subtítulos y referencias bibliográficas. Podrá ser presentado en otro idioma, previa consulta con el editor principal de la revista. Debe tener una extensión máxima de 25 páginas en Word con el mismo formato y márgenes solicitados en el artículo científico e incluyendo cuadros, figuras y no menos de 50 referencias bibliográficas.

Publicación semestral del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá

La publicación de artículos es sin costo alguno, la revista es de acceso abierto.

Los trabajos que ingresan a la revista se examinan que cumplan con el formato establecido. Una vez revisado y ajustado al formato, son enviados a especialistas y con dos dictámenes positivos se incorporan al índice en curso.

La publicación de los artículos es responsabilidad de los autores, quedando la revista científica CIENCIA AGROPECUARIA sin responsabilidad legal.

Correspondencia relativa a la distribución y canje debe dirigirse a:
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
Centro de Información Documental Agropecuaria (CIDAGRO)
Tel. (507) 976-1265/1168 fax. 976-1349
e-mail: cidagro.idiap@idiap.gob.pa

Correspondencia relacionada al contenido editorial debe enviarse a:
Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP)
CIENCIA AGROPECUARIA - Revista Científica
Tel. (507) 500-0519/0520/0521/0522
e-mail: cienciaagropecuaria@idiap.gob.pa
Clayton – Ciudad del Saber
Panamá

ACCESO A LA REVISTA EN INTERNET

Texto completo

<http://www.idiap.gob.pa/revista-cientifica/>

<https://abc.senacyt.gob.pa/recursos-nacionales/>

<http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa>

<https://panindex.org/index.php/misearch/results?tipoBusqueda=revistas&query=ciencia+agropecuaria>

<https://www.latindex.org/latindex/ficha/27121>

