

REVISTA

ISSN L 2644-3856

INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ | FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Vol. 6 No. 2 Junio - Noviembre 2024

Publicación Semestral

https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias



Ciencias Agropecuarias



Disponible en:



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

REVISTA CIENTÍFICA ESPECIALIZADA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS,
SERIADA, ARBITRADA EN LÍNEA E INDEXADA DE LA UNIVERSIDAD DE
PANAMÁ

ISSN L 2644-3856

VOLUMEN 6, N°2
JUNIO - NOVIEMBRE 2024

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

PANAMÁ



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Especializada en Ciencias Agropecuarias
Publicación Semestral
Universidad de Panamá
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Dirección de Investigación y Postgrado
Panamá

Volumen 6, Número 2
Junio - Noviembre 2024

ISSN L 2644-3856

Diseño de Portada
Licda. Noris Miranda
noris.miranda@up.ac.pa

Organización, Revisión, Diagramación y Diseño
Mgter. Carmen C. Rovira C.
carmen.rovira@up.ac.pa

Indexada en:



Disponible en:



Site: https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias

Para la versión electrónica adopta la Licencia de Creative Commons:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)



INFORMACIÓN DE CONTACTO:

Dr. Juan Miguel Osorio R., Editor de la Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA), Universidad de Panamá. Panamá. E-mail: editor_riafca@up.ac.pa Tel.: 523-3912

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ



Dr. Eduardo Flores Castro
RECTOR

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Dr. José Emilio Moreno
VICERRECTOR ACADÉMICO

Mgter. Arnold Muñoz
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Mgter. Mayanín Rodríguez
VICERRECTOR DE ASUNTOS ESTUDIANTILES

Prof. Ricardo Him
VICERRECTOR DE EXTENSIÓN

Prof. José Luis Solís
DIRECTOR GENERAL DE CENTROS REGIONALES UNIVERSITARIOS Y EXTENSIONES
UNIVERSITARIAS Y ANEXOS

Mgter. Ricardo A. Parker D.
SECRETARIA GENERAL

Mgter Eldis Barnes Molinar
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ EDITORIAL

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

DIRECTOR DE LA REVISTA

Dr. M.V. Reinaldo de Armas Taboada PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Dirección de Investigación y Postgrado. Departamento de Zootecnia. Panamá


 reinaldo.dearmas@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0003-2488-0113>

EDITOR DE LA REVISTA

Ing. Agr. Juan Miguel Osorio Rodríguez PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Protección Vegetal. Panamá

 juan.osorio@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-6859-5763>

JEFE DE EDICIÓN

Licdo. Carmen C. Rovira C. MSc. Universidad de Panamá. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Departamento de Informática. Panamá

 carmen.rovira@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0003-4277-5691>

CONSEJO CIENTÍFICO EDITORIAL

Ing. Agr. Carlos Him Dr.Sc. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Aguas. Panamá

Dr. Carlos Leyva Dr.Sc. Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT). Cuba

Dr.M.V. Ramón Denis García. DrSc.. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

Dr. Alberto Menéndez Buxadera DrSc. Prof Adjunto Universidad de Córdoba España. Investigador Independiente. Estados Unidos


Dr.M.V. Axel Iván Villalobos DrSc. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá


Dr. José Giacomo Baccarin. Professor Economia Rural. UNESP, campus de Jaboticabal (SP). Brazil

Ing. Fidel Ovidio Castro PhD. Universidad de Concepción, Campus Chillan. Chile.

EDITORES TEMÁTICOS

Licdo. Alex Eliesser Ríos Moreno PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Protección Vegetal. Panamá

 alex.morenom@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>

Ing. Agr. Fernando Galvéz Msc. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Fitotecnia. Panamá

 fernando.galvez@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0009-0000-5138-1753>

Ing. Agr. Reggie Guerra PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá

 reggie.guerra@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0001-8471-2862>

Ing. Agr. Reinaldo Vargas PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá

 reinaldo.vargas@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

Ing. Agr. Enrique Sánchez-Galán, MSc., Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá

 enriqueasg@hotmail.com


 <https://orcid.org/0000-0002-9452-8177>

Ing. Agr. Eldis Barnes Molinar, MSc., Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá

 enriqueasg@hotmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-0122-5103>

Ing. Agr. Zulay Suira, MSc., Universidad de Panamá, Departamento de Desarrollo Agropecuario, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá

 zulay.suira@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-1232-506X>

Ing. Agr. Luz Loria PhD. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 luz.loria@up.ac.pa

 <https://orcid.org/0000-0002-9977-0894>

Ing. Agr. Carolina Guerra, MSc. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 carolina.guerra@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-8771-8482>

EQUIPO TÉCNICO

MARCACIÓN Y MAQUETACIÓN

Licda. Carmen C. Rovira C., MSc., Universidad de Panamá. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Departamento de Informática. Panamá. Panamá.



carmen.rovira@up.ac.pa



<https://orcid.org/0000-0003-4277-5691>

DISEÑO DE PORTADA

Licda. Noris Miranda. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Oficina de Relaciones Públicas.



noris.miranda@up.ac.pa

REVISIÓN DEL IDIOMA INGLÉS

Profesora Esperanza Diez, MSc. Universidad de Panamá. Facultad de Humanidades. Panamá



esperanza.diez@up.ac.pa

EDITORIAL

Con sumo agrado presentamos a la comunidad científica el Volumen 6 Número 2 de la Revista Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, correspondiente al período junio – noviembre de 2024.

Esta edición se ha organizado de acuerdo con la política establecida en el Comité Editorial de la revista, publicando siete artículos científicos originales e inéditos, una revisión bibliográfica y tres notas científicas.

La producción científica corresponde a las siguientes áreas de especialización de las Ciencias Agropecuarias: pasto y forraje, sanidad animal, bienestar animal, bioestadística, caprino, reproducción animal, fisiología vegetal, lechería y fitopatología.

A fin de incrementar la visualización de los aportes científicos de nuestros investigadores hemos incorporado la revista al Sistema Internacional para la Ciencia y Tecnología Agrícola (AGRIS, por sus siglas en inglés); una de las bases de datos más completas de literatura científica sobre la alimentación y la agricultura en todo el mundo, provista por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). De igual forma se pueden consultar los artículos científicos en el Repositorio Institucional Digital (UP-RID) de la Universidad de Panamá.

Esperamos que con esta incorporación se incremente la visualización de la Revista Investigaciones Agropecuarias a nivel global y que nuestros investigadores puedan dar a conocer sus aportes científicos, buscando incentivar la consulta y la participación de investigadores de diferentes partes del mundo para fortalecer nuestra revista.



JUAN MIGUEL OSORIO RODRÍGUEZ, PhD

EDITOR

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INDICE

SECCIONES EN ESTE NÚMERO

Págs.

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD NUTRITIVA DEL PASTO *Panicum maximum* cultivar Miyagui 11 - 23

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZATION ON THE GROWTH AND NUTRITIONAL QUALITY OF THE GRASS *Panicum maximum* cultivar Miyagui
Edgar Polo, Sebastián Urieta y Yaliska Moreno

CONTATO HUMANO POSITIVO POR ESTIMULAÇÃO TÁTIL TEM POTENCIAL PARA PROMOVER O BEM-ESTAR DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO 24 - 42

POSITIVE TACTILE STIMULATION HAS THE POTENTIAL TO PROMOTE FARM ANIMAL WELFARE
Joseph Grajales-Cedeño, Mayara Andrioli y Mateus J.R. Paranhos da Costa

EFFECTO DE CUATRO FERTILIZANTES FOLIARES, PARA DETERMINAR LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRITIVA DEL PASTO *Brachiaria brizantha* cv. PAIAGUÁS 43 - 57

EFFECT OF FOUR FOLIAR FERTILIZERS TO DETERMINE THE PRODUCTION AND NUTRITIVE QUALITY OF PASTURE *Brachiaria brizantha* cv. PAIAGUÁS
Edgar Polo, Sebastián Urieta y Yaliska Moreno

EVALUACIÓN LINEAL EN CABRAS LECHERAS (*Capra hircus*) Y EL USO DE ANÁLISIS MULTIVARIADOS PARA LA SELECCIÓN FENOTÍPICA 58 - 75

LINEAR EVALUATION IN DAIRY GOATS (*Capra hircus*) AND THE USE OF MULTIVARIATE ANALYSIS FOR PHENOTYPIC SELECTION
Héctor Cedeño, Edwin Reyes, Roberto Saavedra, Edwin Pile, Richard Mudarra, Reggie Guerra, Tamara Pimentel y Joseph Grajales

EVALUACIÓN GENÉTICA PARA PESO AL NACER EN GANADO GUZERAT EN EL ESTADO PORTUGUESA DE VENEZUELA 76 - 84

GENETIC EVALUATION FOR BIRTH WEIGHT IN GUZERAT CATTLE IN THE PORTUGUESA STATE OF VENEZUELA
José R. Pérez González, Álvaro J. Álvarez Rodríguez y David D. Morales Valladares

VARIANZA GENÉTICA ADITIVA Y DE DOMINANCIA EN PRODUCCIÓN DE LECHE EN ANIMALES HOLSTEIN PUROS Y CRUZADOS CON BROWN SWISS 85 - 96

ADDITIVE AND DOMINANCE GENETIC VARIANCE IN MILK PRODUCTION IN PUREBRED HOLSTEIN CATTLE AND CROSSBRED WITH BROWN SWISS
Alberto Menéndez-Buxadera, Herbert Aguilar y Reggie Guerra

COMPARACIÓN DE MODELOS NO LINEALES PARA EL AJUSTE DE CURVAS DE
CRECIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS EN POLLOS COBB 97 - 119

COMPARATION OF NONLINEAR MODELS TO FIT GROWTH CURVE AND ESTIMATION
OF PRODUCTIVE PARAMETERS IN COBB 500 CHICKENS

Roberto Saavedra, Richard Mudarra, Héctor Cedeño y Tamara Pimentel

NOTAS CIENTÍFICAS

PREVALENCIA DE NEMÁTODOS GASTROINTESTINALES EN EQUINOS DE GRANJA DE
COMUNIDADES RURALES EN ALGUNAS PROVINCIAS DE PANAMÁ 120 - 125

PREVALENCE OF GASTROINTESTINAL NEMATODES IN FARM HORSES OF RURAL
COMMUNITIES IN SOME PROVINCES OF PANAMA

Edwin Pile, Debbie Warboys, Rommel Rosas, Olga Bravo, Andrés Chang y Euribiades Chang

IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA PUDRICIÓN DE LA ALBURA DE LA TECA
(*Tectona grandis* L. f.), EN LA PROVINCIA DE DARIÉN, REPÚBLICA DE PANAMÁ 126 - 132

IDENTIFICATION OF THE CAUSAL AGENT OF TEAK SAPP ROT (*Tectona grandis* L. f.),
IN THE PROVINCE OF DARIÉN, REPUBLIC OF PANAMA

Aydelbis Ballesteros y Luz Cortés

EL PAPEL Y PERFIL SOCIOECONÓMICO DE LA MUJER EN EL CUIDADO DEL EQUINO EN
LA AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN COCLESITO, COLÓN 133 - 141

THE ROLE AND SOCIOECONOMIC PROFILE OF WOMEN IN THE CARE OF HORSE IN
SUBSISTENCE AGRICULTURE IN COCLESITO, COLÓN

Edwin Pile, Debbie Warboys, Rommel Rosas, Olga Bravo, Andrés Chang y Euribiades Chang

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICAS

EFFECTOS DE LOS AMINOÁCIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS 142 - 166

EFFECTS OF AMINO ACIDS ON CROP PRODUCTION

Rolando I., Corella Caballero, Dayane, Littig Barker C. y Fernando G., Gálvez Cerrud

SOBRE LA REVISTA 167- 171



EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD NUTRITIVA DEL PASTO *Panicum maximum* cultivar Miyagui

EFFECT OF ORGANIC FERTILIZATION ON THE GROWTH AND NUTRITIONAL QUALITY OF THE GRASS *Panicum maximum* cultivar Miyagui

*Polo, Edgar. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
epolo61@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1246-2355>

Urieta, Sebastián. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
suv208@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8949-5414>

Moreno, Yaliska. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
yaliska.moreno@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-6643-7713>

*Autor de Correspondencia: epolo61@hotmail.com

Recibido: 25/07/2023

Aceptado: 14/03/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5154>

RESUMEN. Con la finalidad de evaluar el efecto entre las aplicaciones de diferentes dosis de fertilizante orgánico sobre el crecimiento y calidad nutricional del forraje producido por el pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui, se planteó la siguiente investigación. Se condujo el siguiente experimento en el Instituto Profesional y Técnico México-Panamá ubicado en Tanara, distrito de Chepo, Provincia de Panamá. La ubicación geográfica corresponde a los 09°08' Latitud Norte y 79°12' Longitud Oeste. Se evaluaron cinco dosis orgánicas (0, 5.0, 10.0, 15.0 y 20 ton/ha) de fertilizante procedente de cama de gallinero. Se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar y tres repeticiones. El área de la parcela experimental fue de 4.0 m². Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (cm), cobertura (%), rendimiento de materia seca (kg/ha), materia seca (%), proteína cruda (%), fibra cruda (%), cenizas (%) y fósforo (%). El análisis estadístico mostró a los 40 días de rebrote que no se encontró diferencias significativas ($P>0.05$) sobre todas las variables estudiadas. Cuando la biomasa de hojas fue mayor, la altura de plantas declinó como consecuencia del aumento progresivo en material muerto y tallos en la dosis de 20 ton/ha, tendencia similar ocurrió en la cobertura. Cuando se incrementaron las dosis de abono orgánico se observó un incremento en las variables rendimiento de materia seca (0 ton/ha; 3472 kg/ha, 5.0 ton/ha; 3773 kg/ha, 10.0 ton/ha; 4033 kg/ha, 15.0 ton/ha; 4554 kg/ha y 20.0 ton/ha; 4451 ton/ha, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas. Los contenidos de materia seca presentaron porcentajes que iban de 18.13 hasta 19.04%. Los contenidos de proteína que se obtuvieron en el ensayo fluctuaron entre valores de 9.10 a 10.6 %. En todos los tratamientos la fibra cruda presentó rangos por el orden de 12.0 a 14.60 %. Los contenidos de fósforo que derivaron de este estudio están en el rango de buenos y considerados altos.

PALABRAS CLAVE: fertilizante orgánico, altura de planta, cobertura, rendimiento de materia seca, proteína cruda.

ABSTRACT. In order to evaluate the effect between the applications of different doses of organic fertilizer, different doses of organic fertilizers on the growth and nutritional quality of the forage produced by the *Panicum maximum* cv. Miyagui, the following investigation was proposed, the following experiment was conducted at the Mexico-Panama Professional and Technical Institute located in Tanara, Chepo district, Panama Province. The geographical location corresponds to 09°08' North Latitude and 79°12' West Longitude. Five organic doses (0, 5.0, 10.0, 15.0 and 20 ton/ha) of fertilizer from chicken coop litter were evaluated. A completely randomized block experimental design with three repetitions was implemented. The area of the experimental plot was 4.0 m². The variables evaluated were: plant height (cm), cover (%), dry matter yield (kg/ha), dry matter (%), crude protein (%), crude fiber (%), ash (%) and phosphorus (%). The statistical analysis showed 40 days after regrowth that no significant differences ($P>0.05$) were found on all the variables studied. When leaf biomass was higher,



plant height declined as a consequence of the progressive increase in dead material and stems at the 20 ton/ha dose, a similar trend occurred in cover. When the doses of organic fertilizer were increased, an increase was observed in the dry matter yield variables (0 ton/ha; 3472 kg/ha, 5.0 ton/ha; 3773 kg/ha, 10.0 ton/ha; 4033 kg/ha, 15.0 ton/ha; 4554 kg/ha and 20.0 ton/ha; 4451 ton/ha, although there were no statistically significant differences. The dry matter contents presented percentages ranging from 18.13 to 19.04%. The protein contents that were obtained in the trial fluctuated between values of 9.10 to 10.6 %. In all treatments, crude fiber presented ranges in the order of 12.0 to 14.60 %. The phosphorus contents derived from this study are in the range of good and considered high.

KEYWORDS: organic fertilizer, plant height, cover, dry matter yield, crude protein.

INTRODUCCIÓN

Las ganaderías actuales buscan ser sostenibles, por consiguiente, han optado por la utilización o creación de abonos orgánicos de materias primas; buscando así, poder tener una salida de ese material que antes se tenía como un desecho contaminante. Al tener datos de pasturas mejoradas abonadas de manera orgánica, se estará mostrando a los productores los rendimientos que éstas pueden llegar a tener de manera amigable con el ambiente y ayudando así a la protección de los suelos.

La obtención de biomasa forrajera obedece a las condiciones edafoclimáticas, el estado hídrico y la fertilidad del suelo. Para poder llegar a un pico de producción de las plantas se debe tener un adecuado abastecimiento de nutrimentos, las necesidades de cada especie varía y está altamente dependiente del ciclo de crecimiento de cada una. Los pastos (gramíneas) tienden a tener requerimientos más exigentes que otras especies, pues presenta además de necesidad de fósforo una gran cantidad de nitrógeno (Herazo et al., 2008).

Debido a que el crecimiento vegetal este arraigado a los factores ambientales (temperatura, luz y agua); en fin, el requerimiento de nutrimentos será mínimo cuando se restringen bajas tasas de crecimiento y aumentará hasta un máximo con el pico de crecimiento (Marino, 1999). La recirculación de nutrimentos es de suma importancia, se debe tener un análisis de suelo, este para poder determinar las dosis de fertilizantes y este se modifica dependiendo del uso del recurso vegetal (pastoreo o corte), de tal manera, es importante entender las técnicas que intervienen en el proceso cíclico de los nutrimentos, como lo son: la absorción, utilización, extracción, liberación y reutilización (García et al., 2002).

La introducción de pasturas mejoradas a nuestro trópico panameño es de gran importancia estudiarlas, puesto que la reacción de crecimiento, desarrollo, respuesta climática y calidad nutricional varía según países, de tal manera que, este pasto tenga registro que ayude al productor a saber el rendimiento que le dará en su ganadería. Los científicos se encuentran en la gran lucha de realizar mejoras en las especies forrajeras actuales, o, en la búsqueda nuevas gramíneas que logren satisfacer la demanda del mercado, llegando a ofrecer pastos con gran calidad nutritiva, gran producción de biomasa y que logren desarrollarse de manera adecuada en los suelos con los que cuenta el trópico, que se caracterizan por presentar grandes limitaciones.

La utilización excesiva de fertilizantes químicos y la falta de manejo de las pasturas al momento de establecer una especie forrajera, causa un asolamiento de la estructura tanto física como química



de los nutrientes originales del suelo. La utilización de productos orgánicos como medio de fertilizante ayuda al enriquecimiento del suelo y es utilizable como medida para disminuir los excesivos costos de productos químicos, sumándole a esto que son amigables por el ambiente.

El estudio de pasturas nuevas como lo es el *Panicum maximum* cultivar Miyagui utilizando como método de abono productos orgánicos, será de gran ayuda al sector pecuario panameño, puesto que se tendrán datos garantizados en nuestros suelos, de dosis adecuadas para su productividad y calidad. A su vez podrá ser una alternativa más económica de fertilizar las pasturas debido al aumento del costo de los abonos químicos en nuestro país. A nivel mundial son pocos los estudios realizados relacionados producción y calidad nutritiva en pasturas, es por eso por lo que el objetivo de este estudio es obtener información del comportamiento agronómico del pasto *Panicum maximum* cultivar Miyagui en los suelos al aplicarse un abono totalmente orgánico, el cual nos brindara información vital sobre su productividad de forraje, comportamiento de crecimiento y calidad nutritiva. Al tener datos de pasturas mejoradas abonadas de manera orgánica, se estará mostrando a los productores los rendimientos que éstas pueden llegar a tener de manera amigable con el ambiente y ayudando así a la protección de los suelos.

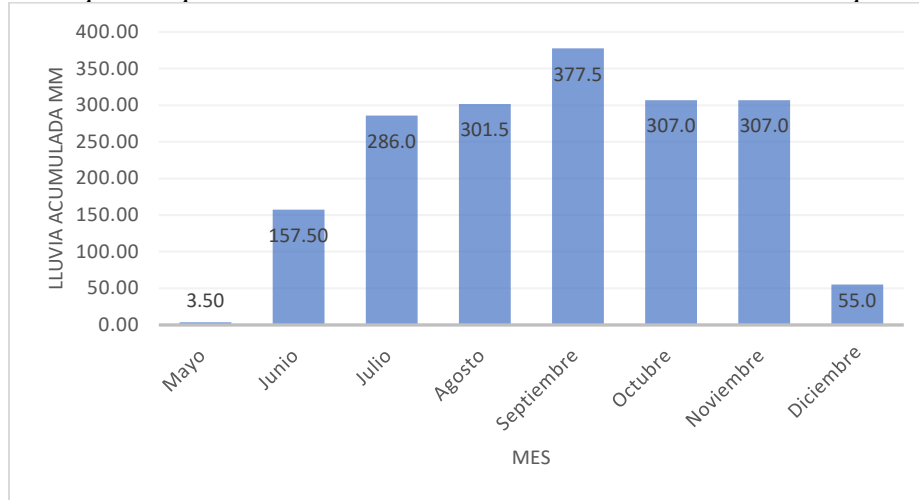
MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo experimental se realizó en los terrenos del Instituto Profesional y Técnico México-Panamá, ubicado en Tanara, distrito de Chepo, Provincia de Panamá. La ubicación geográfica corresponde a los 09°08' Latitud Norte y 79°12' Longitud Oeste. Esta parcela cuenta con un suelo con textura franco arcilla arenosa, con fertilidad de media a baja y coloración rojiza, con precipitaciones y temperaturas medias anuales de 2,180.9 mm y 23 a 32 °C. con un porcentaje de arena de 45%, 21% de limo y 34% de arcilla, con un porcentaje de materia orgánica de 1,44%, con un pH medido en agua de 5,51 y cuyos niveles de minerales son los siguientes: 272 ppm de P, 71 ppm de K, 46 ppm de Na, 80 ppm de Fe, 3 ppm de Cu, 82 ppm de Mn, 9 ppm de Zn, 7,84 meq de Ca/100g de suelo, 4,52 meq de Mg/100g de suelo, 0,1 meq de H/100g de suelo y sin aluminio en forma libre. El clima en esta región es muy caliente durante todo el año, en la temporada lluviosa es mayormente nublada, mientras que en la temporada seca es ventosa y parcialmente nublada. En el transcurso del año las temperaturas tienden a variar entre 23°C a 32°C. La pluviosidad anual promedio de la región es de 2180,9 mm anuales, En el año del estudio (2021) se registró mediante la estación El Naranjal en Tanara de Chepo una precipitación pluvial de 1795 mm entre los meses de mayo a diciembre (Figura 1).



Figura 1

Precipitación pluvial por mes del año 2021 en el sector de Tanara de Chepo.



Fuente: Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, 2021.

La preparación del suelo consistió primero en una limpieza manual del terreno. Luego se utilizó el producto químico herbicida post-emergente, sistémico no selectivo glifosato en dosis de 2.0 lt/ha. La siembra se realizó con semilla gámica, utilizando 5.0 kilogramos por hectárea. Se realizó la siembra con el método de chorro continuo a una distancia de siembra de 40 cm entre hileras. El área de la parcela experimental fue de 4.0 m². El área que cubrió el ensayo fue de 332.50 m². El diseño experimental fue de bloques completos al azar. Dos meses después de la siembra se realizó corte de uniformidad a todas las parcelas a 0,20 metros (m) sobre el suelo y se procedió a la aplicación de fertilizante orgánico ABONAT a los tratamientos a estudiar. Este abono es un tipo cama de gallinero de gallinaza de la derivación de la excreta, pluma, residuo de alimento y huevos rotos, que caen al piso y se mezclan, pasando por un proceso de secado. La composición química del abono orgánico se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Composición química del abono orgánico

ABONAT	
Nitrógeno (N)	1.54 %
Fosforo (P2O5)	1.88 %
Potasio (K2O)	1.64 %
Calcio (Ca)	3.80%
Cobre (Cu)	82 Mg/kg
Magnesio (MgO)	289 Mg/kg
Hierro (Fe))	562 Mg/kg
Zinc (Zn)	40 mg/kg
pH	7.55
Carbono orgánico	28.8%
Capacidad de retención de agua	48.6 %
Cenizas	36.78%

Fuente: Melo, 2022.

Las dosis de tratamientos orgánicos fueron: T0: (testigos): sin aplicación de abono orgánico, T5: 5.0 toneladas/ha, T10: 10 toneladas/ha, T15: 15 toneladas/ha y T20: 20 toneladas /ha. Dichos tratamientos fueron utilizados por resultados de otros estudios utilizando dosis menores (0-5 toneladas/ha), realizados con especies forrajeras en la misma área donde se estableció el ensayo (Pérez, 2021), (Pimentel, 2021). Estos niveles de fertilización fueron aplicados en su totalidad después del corte de nivelación de las parcelas. Se realizaron los cortes a una altura de 20 cm con respecto al suelo con intervalos de 40 días de rebrote. Las variables estudiadas fueron las siguientes: Altura de planta (cm.), Cobertura (%), Rendimiento de materia seca (kg/ha), Materia seca (%), Fósforo (%), Fibra (%), Proteína bruta (%), Fibra cruda (%) y Ceniza (%).

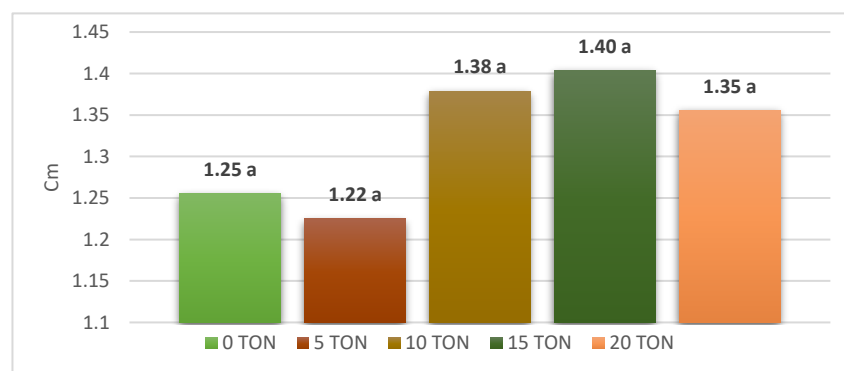
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ALTURA DE PLANTA (cm)

Los resultados del análisis estadístico demostraron que no existen diferencias significativas ($P>0.05$) por efecto de la fertilización orgánica sobre la altura de planta del pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui. A pesar de que no hubo diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados se observó un aumento en las alturas a medida que se incrementaban los niveles de fertilizante orgánico. El tratamiento testigo (0 ton/ha) (1.25 cm) y el de 5.0 ton/ha (1.22 ton/ha) alcanzaron las menores alturas en el experimento, con las dosis de 10.0 y 15.0 ton/ha se presentaron las alturas máximas con 1.30 y 1.40 cm respectivamente. Se observó que el crecimiento fue en aumento desde el tratamiento testigo (0 ton/ha), hasta las dosis orgánicas de 5 ton/ha, con 1,22 cm, 10 ton/ha con 1,38 cm, hasta alcanzar una altura máxima de la planta con la dosis de 15 ton/ha y 1,40 cm, cuando la biomasa de hojas fue mayor, posteriormente declinó para luego declinar como consecuencia del aumento progresivo en material muerto y tallos en la dosis de 20 ton/ha y altura de 1.35 cm. (Figura 2). Estudios realizados por Ruíz et al. (2015), en Cauca, Colombia utilizando *Panicum maximum* cv Massai cortando entre los 60 y 90 días fue de 57,40 y 74,50 cm, utilizando materia orgánica a base de residuos de cosecha de caña de azúcar, *Cratylia argentea* y materia fecal de los animales mezclados a razón de 2000 kg/ha. Los valores expuestos encontrados en este trabajo son más altos para todas las dosis orgánicas que se estudiaron (Figura 2). Por otra parte, con el empleo de fertilizantes químicos (50 kg de $P_2 O_5$ /ha, 100 kg de $K_2 O$ /ha y 100 kg de N/ha fraccionadas tres veces al año), Pérez y Silva et al. (1999) citado por García et al. (2009), informaron valores de 56,5 y 92,5 cm a los 42 y 84 d de rebrote en el período lluvioso. Estos resultaron inferiores a los obtenidos en este trabajo a la edad de rebrote de 40 días.

Figura 2

Efecto de la fertilización orgánica sobre la altura de plantas (cm) del pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui.



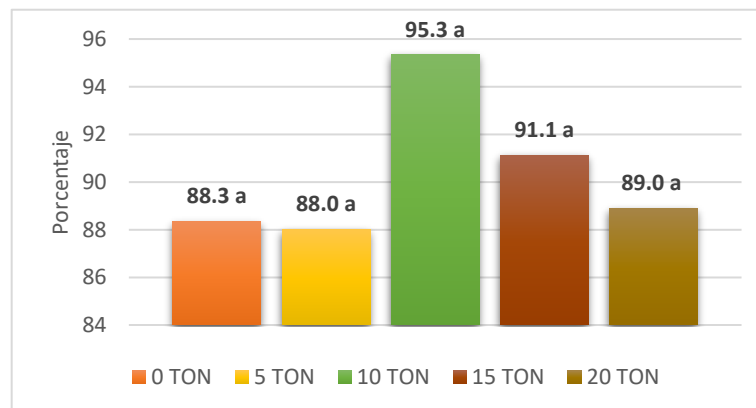
1.1. COBERTURA (%)

La cobertura es la relación entre el área de hojas y la superficie del suelo que ellas cubren expresando el potencial de rendimiento de forraje, relacionado con la utilización de energía solar, a través de la fotosíntesis. Los porcentajes de cobertura del pasto Miyagui no difirieron ($P>0.05$) entre las dosis de fertilizantes orgánicos. Los altos porcentajes de cobertura en la época lluviosa (octubre, noviembre y diciembre), fueron debido a la alta disponibilidad hídrica y de temperaturas, por lo tanto, la planta tuvo mayor retención de agua.

En la Figura 3, se observa el comportamiento en cuanto a los contenidos de abono orgánico evaluados presentándose un leve aumento lineal desde el tratamiento testigo (0 ton/ha; 88.3%) hasta el tratamiento de 10 ton/ha (95,3 ton/ha). Luego se presenta una tendencia a disminuir la cobertura con las dosis mayores de 15 ton/ha y 20 ton/ha. Con el aumento de la interceptación de la luz solar ocurren simultáneamente incrementos en el rendimiento de forrajes, hasta llegar a un nivel máximo, cuando las hojas más viejas entran en senescencia y son sombreadas por las nuevas, causando la disminución de la eficiencia fotosintética con menores tasas de crecimiento. La cobertura óptima de una planta forrajera es aquella asociada con altos rendimientos, bien distribuidos a lo largo de la estación de crecimiento. Normalmente ocurre cuando las hojas interceptan el 90% de energía radiante incidente. En Rondônia, Costa et al. (1999) encontraron que la cobertura óptima del *Panicum maximum* cv. Centenario se presentó con plantas al realizar cortes entre los 35 y 42 días.

Figura 3

Efecto de la fertilización orgánica sobre la cobertura de planta en porcentaje del pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui.



RENDIMIENTO DE MATERIA SECA (kg/ha)

La producción de *Panicum maximum* varía dependiendo de la calidad de los suelos y de clima en los cuales se desarrolla. No hubo diferencias ($P>0.05$) en la variable rendimientos de materia seca entre los niveles de fertilización orgánica según el análisis de varianza. En Cuba, en la provincia de Granma en un trabajo llevado a cabo por Verdecía et al. (2009) se estudiaron los potenciales agro productivos de dos variedades de *P. maximun* (Mombasa y Uganda), con hábito de crecimiento similar al pasto Miyagui, con cuatro edades de rebrote (30, 45, 60 y 75 días) y una altura de corte de 10 cm, se determinó que el rendimiento en materia seca total, de las hojas y los

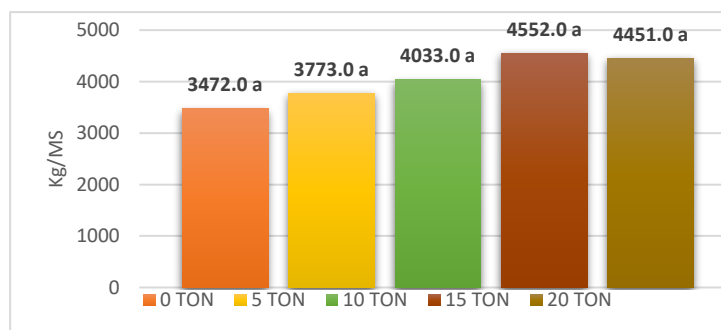
tallos aumentaron con la edad de rebrote obteniéndose los mejores resultados a los 75 días con 4,020 kg/ MS. Esta respuesta nos indica que en los niveles de fertilización orgánica que se estudiaron en este trabajo mantuvieron promedios de productividad similares a una frecuencia que duplicaba en tiempo la anteriormente descrita (Figura 4).

Por otro lado, Karina et al. (2005), en Goiás-Brasil investigando con dosis de fertilización nitrogenada de 280 kg/ha en forma de urea en *Panicum maximum* cv Mombasa, obtuvo producciones de materia seca por el rango de 2,644 kg/ha cortado cada 28 días, y que a pesar de que en dicho estudio el corte se realizó 12 días antes en comparación con nuestra investigación con abono orgánicos, respuestas en cuanto a producción de materia seca fueron similares. Morales (1998), en su guía para estimar el rendimiento mensual y producción esperada de forrajes, presenta que las producciones entre 3,000 a 3,500 son consideradas entre muy buenas a excelente. Además de obtener buenas respuestas, en cuanto a rendimiento de materia seca (0 ton/ha; 3472 kg/ha, 5,0 ton/ha; 3773 kg/ha, 10,0 ton/ha; 4033 kg/ha, 15,0 ton/ha; 4554 kg/ha y 20,0 ton/ha; 4451 ton/ha) con las dosis de fertilización orgánica evaluadas en el presente estudio, al mismo tiempo aporta otros nutrientes y materia orgánica para optimizar las condiciones físicas y químicas del suelo como son la aireación y una mejor distribución de las aguas. También se incrementan los productos microbiales y la actividad radicular. Al no haber diferencia significativa en los valores de rendimiento de materia seca con las dosis aplicadas en el presente estudio, puede deberse a que los abonos orgánicos tienden a liberar nutrientes lentamente a lo largo del tiempo.

Los elementos nutrimentales que componen la materia orgánica se encuentran en formas químicas complejas, que después de pasar por los procesos de mineralización y humificación, son reducidos a formas químicas simples, las cuales quedan disponibles para la planta a través del tiempo. Otra causa pudo ser el exceso de agua que recibió el pasto Miyagui durante el periodo de estudio (Ver Figura 1), donde las plantas no pudieron absorber normalmente los nutrientes de los suelos aportados por el abono orgánico.

Figura 4

Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento de materia seca (kg/ha) del pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui.



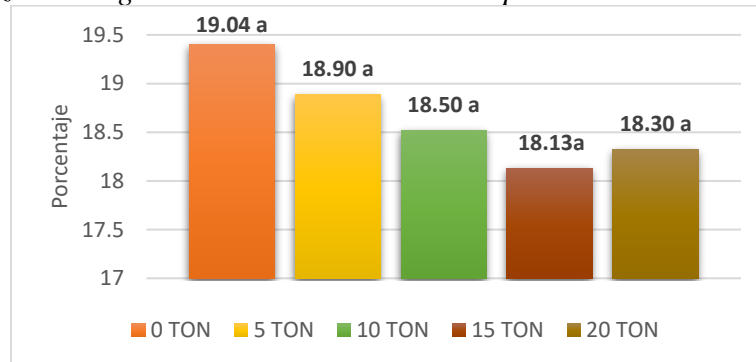
1.2. MATERIA SECA (%)

El contenido de materia seca (MS) del forraje es el resultado de la extracción del agua que contiene las plantas en estado fresco o verde. Su función principal es la de nutrir las bacterias del rumen para producir carne o leche. En los contenidos de materia seca no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos orgánicos dentro de la época del año evaluada.

La cantidad de materia seca de las pasturas y forrajes es variable a lo largo del año dependiendo principalmente de su estado de madurez, de la especie y del manejo (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria, s.f). Cabe señalar que las especies forrajeras de gramíneas tropicales durante la época lluviosa mantienen contenidos de materia seca dentro de los rangos generales que van de 15 a 35 % para la temporada lluviosa, época en la cual se realizó la evaluación del presente estudio, donde se obtuvo un rango de porcentaje desde 18,13 % hasta 19,04 % (Figura 5), coincidentes con los porcentajes de materia seca para una especie forrajera cuyas plantas se encuentra en pleno estado vegetativo a los 40 días.

Figura 5

Efecto de la fertilización orgánica en la materia seca del pasto *Panicum máximum* cv. Miyagui.



1.3. PROTEÍNA CRUDA (%)

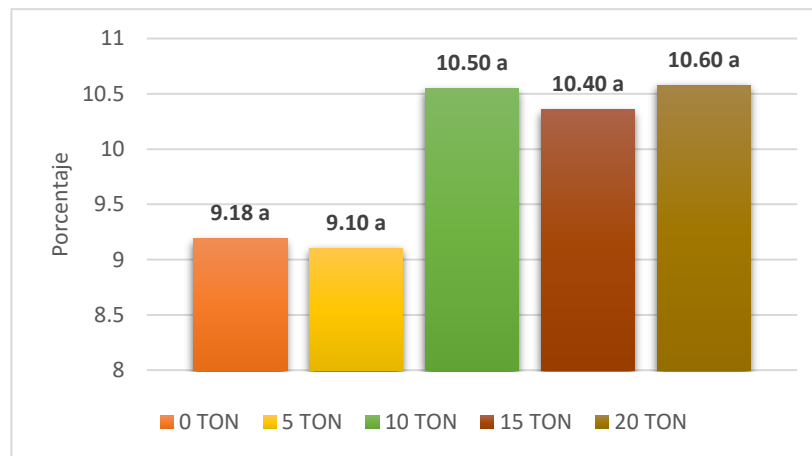
Proteína bruta, se refiere al porcentaje de proteína que contiene un alimento. Ese valor se obtiene después de haberlo sometido al análisis químico. La proteína es un nutrimento esencial en el organismo y adquiere especial importancia para los animales que se encuentran en crecimiento y producción. Por lo tanto, la disponibilidad de proteína de los forrajes es especialmente importante para animales jóvenes (terneros, novillas). El contenido de proteína cruda de las gramíneas puede variar entre 3 % en una gramínea tropical y muy madura hasta más de 12 % en una pastura en su momento óptimo de cosecha. En el análisis de varianza del efecto de las dosis de fertilizantes orgánicos sobre la proteína (%), no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) durante el periodo de investigación. Entre las especies del género *Panicum*, las más utilizadas en los sistemas de producción de pastos son: cv. Aries, cv. Aruana y cv. Mombasa. De estos, cv. Mombasa es la que más se parece al cv. Miyagui en relación con las características de la estructura del dosel y la composición química.

Como se puede apreciar en la Figura 6 los contenidos de proteína que se obtuvieron en el ensayo fluctuaron entre valores de 9,10 a 10,6 %. Es importante señalar que los valores de proteína cruda a partir de la dosis de 10,0 a 50,0 ton/ha fueron los mayormente obtenidos por el pasto Miyagui, con valores no diferenciados de 10,5 % (10 ton/ha), 10,4 % (15 ton/ha) y 10,6 % (20 ton/ha) (Figura. 6). Los valores de proteína bruta no difirieron a los obtenidos por Rodríguez (2019), quien reporto 11,11 % de proteína bruta para el cv. Mombasa en cortes realizados cada 40 días. Por otro lado, Coauro et al. (2004), en un estudio realizado en Venezuela con *Panicum maximum* cultivares Guinea común y sus cultivares Mombasa y Tanzania, con el objetivo de comparar los contenidos de proteína cruda (PC), realizando muestreos a 42 días de edad, comprobaron que el contenido de

proteína cruda de Mombasa y Tanzania fue de 10 % a los 42 días, los valores de respuestas similares a los obtenidos con el pasto Miyagui al aplicar las dosis de fertilización orgánica mayores (10.0, 15.0 y 20.0 ton/ha). Se ha establecido que niveles menores del 7 % de N en los pastos deprimen el consumo (Chamorro Moran, 1996), ya que no alcanzan a cubrir las necesidades de los microorganismos del rumen. Los contenidos de proteína encontrados en el presente estudio según la Clasificación del Valor Nutritivo de los Forrajes de Fudge y Fraps (1974), se consideran dentro del rango de regulares (7.5 a 11.9 %). El menor contenido de proteína cruda del trabajo se presentó en las dosis de 0 (9.18 %) y 5.0 (9.10 %) toneladas /hectáreas respectivamente (Figura 6).

Figura 6

Efecto de la fertilización orgánica sobre la proteína cruda (%) en el pasto Panicum maximum cv. Miyagui.

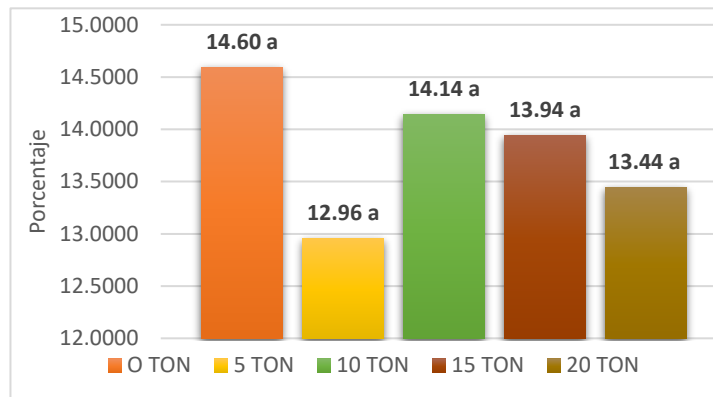


1.4.FIBRA CRUDA (%)

Está bien establecido como un hecho que la concentración de fibra (lignina) en los forrajes es negativamente correlacionada con su digestibilidad (Jung and Deetz, 1993). El análisis de varianza nos dice que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en cuanto a los niveles de fertilizante orgánicos empleados. Evaluando los valores obtenidos podemos observar que en todos los tratamientos los contenidos mantuvieron rangos de fibra cruda por el orden de 12.96 a 14,60 % (Figura 7) que de acuerdo con la Clasificación del Valor Nutritivo de los Forrajes expresado en base seca de Fudge y Fraps (1974), están considerados como porcentajes excelentes (27,5 o menos) para una especie forrajera en el sentido de que sean bien digestibles y consumibles por el animal. El pasto del género *Panicum máximo* cultivar Tanzania con características similares de crecimiento que el Miyagui al realizarle cortes cada 45 días presentó contenidos superiores de Fibra cruda por el orden de 30,86 %, en Cuba durante la estación lluviosa (Verdecia y et.al., 2009).

Figura 7

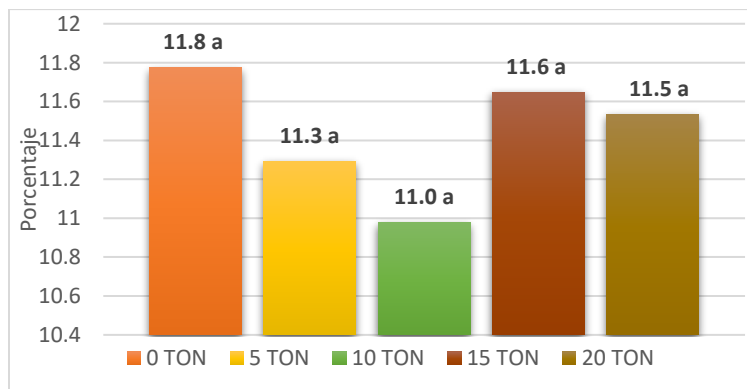
Efecto de la fertilización orgánica sobre la fibra cruda (%) en el pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui.

**1.5. CENIZA (%)**

Cenizas es una medida del total de minerales presentes en un alimento. El contenido de cenizas de forrajes o pasto es importante ya que es una variable que puede ser utilizada para ayudar a balancear las sales mineralizadas a escala de fincas. Para el contenido de ceniza no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$), al aplicar los tratamientos orgánicos al pasto Miyagui. Los valores de ceniza obtenidos para el pasto Miyagui con todas las dosis orgánicas estudiadas se encuentran en el rango de 11 %, superior a los esperados para compuestos herbáceos, el cual es aproximadamente del 7 % (Ingwald et al., 2005). Los valores reportados para Miyagui fueron los siguientes: 0 ton/ha; 11,8 %, 5.0 ton/ha; 11,3 %, 10 ton/ha; 11,0 %, 15 ton/ha; 11,6 % y 20 ton/ha; 11,5 % respectivamente (Figura 8).

Figura 8

Efecto de la fertilización orgánica sobre la ceniza (%) en el pasto *Panicum maximum* cv. Miyagui.

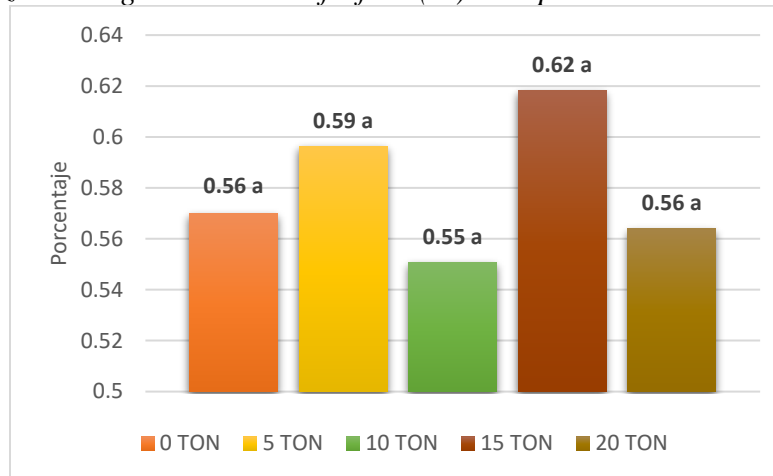
**1.6. FOSFORO (%)**

El análisis de varianza para el contenido de fósforo, indica que no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) al aplicar los tratamientos orgánicos al pasto Miyagui. Los contenidos de fósforo que derivaron de este estudio están en el rango de buenos (0,30 % a 0,40 %) y considerados altos (Fudge y Fraps, 1974).

En general, los contenidos de fósforo en las gramíneas suelen ser muy bajos (entre 0.15 % ó menos). Los valores presentados por cada tratamiento orgánico fueron: 0 ton/ha; 0,56 %, 5,0 ton/ha; 0,59 %, 10,0 ton/ha; 0,55 %, 15,0 ton/ha; 0,62 % y 20 ton/ha; 0,56 % (Figura 9).

Figura 9

Efecto de la fertilización orgánica sobre el fósforo (%) en el pasto Panicum maximum cv. Miyagui.



CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y las condiciones en que se llevó a cabo este trabajo, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Las fertilizaciones con abono orgánico no afectaron significativamente las variables experimentadas en la investigación.

Pero a medida que se incrementó la fertilización orgánica, el rendimiento de materia seca se elevó numéricamente, pero estadísticamente no represento significancia, aun así, son considerados como niveles satisfactorios de productividad ya que están entre 3,000 a 3,500 kg/ha.

En cuanto a las variables bromatológicas, tomando en cuenta el contenido de proteína bruta y que su rango de aceptabilidad es de 7,5 % a 11,9 %, los resultados obtenidos son considerados entre regulares y buenos en las dosis estudiadas para el crecimiento y producción de los bovinos.

Mientras que el contenido de fibra cruda en los tratamientos evaluados fue excelente, debido a que su rango considerado como aceptable es de 27,5 % o menos. En este sentido, los porcentajes obtenidos nos indica que el material será bien digestibles y aprovechable por el animal sobre el pasto Miyagui.

Por otro lado, los valores de ceniza que se encontraron en un 7 % y fósforo que oscilo en el rango de 0,30 a 0,40 % son deseables, aunado con los altos contenidos de fósforo que tiene el suelo del estudio ya que contribuirán a mejorar los rendimientos de los productores ganaderos del país.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chamorro Moran, J. (1996). Memorias de curso Pasturas tropicales. Consumo y valor nutritivo de los forrajes. *Medellín: Corpoica Regional* 4. p 87- 95.
- Coauro, M., González, B., Araujo-Febres, O., y Vergara, J. (2004). Composición química y digestibilidad in vitro de tres cultivares de guinea (*Panicum maximum* jacq.) a tres edades de corte en bosque seco tropical. http://www.avpa.ula.ve/congresos/memorias_xiicongreso/pdfs/07_pastos/07_pastos_gramineas_pag121.pdf
- Costa, N. de L., y Paulino, V. T. (1999). Avaliação agrônômica de genótipos de *Brachiaria brizantha* em diferentes idades de corte. In Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 36, Porto Alegre. Anais.... Porto Alegre: SBZ, 3p.
- Fudge, J.F. & Fraps, G.S. (1974). “The chemical compositions of forrage grasses from the Gulf Coast prairie as related to soil and to requirement for range cattle”. Texas Agr. Exp. Sta. Bull. 644, Collage Station, Texas. E.U.A.
- García, C.R., Martínez, R., Cruz, A., Romero, A., Estanquero, A. y Torres, Verena. 2009. Evaluación de *Panicum maximum* vc. Mombaza y modelación de indicadores agronómicos durante tres años en un suelo ferralítico rojo típico de la provincia La Habana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 43, Número 3. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015481014.pdf>
- García, M., Sánchez, C., Marín, C., y Caruci, P. (2002). Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Bogotá: Editorial Prentice Hall Internacional. p. 42 – 7.
- Herazo, R., y Morelo, C. (2008). Evaluación del crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad del cultivo de pasto guinea Mombaza (*Panicum maximum, jacq*) bajo cuatro fuentes de abonamiento en la finca Pekín, Municipio de Sincé, Sucre - Colombia. Tesis de Licenciatura, Universidad de Sucre-Colombia. Repositorio Institucional US. <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/430/633.202H531.pdf?sequence=2>
- IDIAP. (2021). Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Estación Meteorológica de El Naranjal, Tanara, Chepo.
- Ingwald, O., Thomas, B., & Georg, B. (2005). Chemical properties of solid biofuels: significance and impact. *Biomass and Energy*, 30, pp. 97–982.
- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria (INIA). (s.f). Determinación de la materia seca de una pastura. Uruguay. Ficha Técnica N° 34. Sistema Ganadero Extensivo <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11189/1/Ficha-tecnica-34->
- Jung, H.G. & D.A. Deetz. (1993). Cell wall lignification and degradability. p. 315-346. In H. G. Jung, et al. (eds.). Forage Cell Wall Structure and Digestibility. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisc.



- Karina, R. F., Beneval, R., Juliana, A. R., Jorge, L., do N., Alexandre. B., Paulo, H. y Rafaela, M. (2005). Avaliação do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetido a diferentes doses de nitrogênio. Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, v. 27, no. 1, p. 83-89.
- Marino, G.H. (1999). Fertilización de forrajes en la región pampeana: Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. Instituto de la Potasa y el Fósforo - INPOFOS Cono Sur.
- Melo. (2022). Almacenes agropecuarios Melo. Abonat es un fertilizante orgánico. <https://www.facebook.com/202111246586123/photos/-abonat-es-un-fertilizante-org%C3%A1nico-si-tu-plantones-o-huerto-no-est%C3%A1-brindando-/196141243065987/>
- Morales, J. y Lobo, M. (1998). Aspectos básicos de manejo y utilización de potreros para la producción eficiente y sostenible. Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Pérez, A. (2021). “Utilización de abono orgánico en la producción y calidad nutritiva del Pasto *Brachiaria híbrido cultivar BRS RB331 Ipyporã* durante la temporada lluviosa en Panamá Este”. Tesis de Licenciatura, Universidad de Panamá. Repositorio Institucional UP. http://up-rid.up.ac.pa/6591/1/andrea_perez.pdf
- Pimentel, T. (2021). Utilización de abono orgánico en la producción y calidad nutritiva del pasto *Brachiaria híbrido cultivar BRS 331 Ipypora*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Panamá. Repositorio Institucional UP. http://up-rid.up.ac.pa/6589/1/tamara_pimentel.pdf
- Rengsirikul, K., Ishii, Y., Kangvansaichol, K., Pripanapong, P., Sripichitt, P., Punsuvon, V., & Tudsri, S. (2011). Effects of inter-cutting interval on biomass yield, growth components and chemical composition of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) cultivars as bioenergy crops in Thailand. Grassland science, 57(3), pp. 135–141.
- Rodríguez, A. C. (2019) Composição química de gramíneas de gênero *Panicum* em três idades de pós-rebrota. In: X Congresso Nordestino de Produção Animal. Anais eletrônicos. Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Ruíz Hernández, F. L., Rodríguez, E. G., Pinzón, J., Anzola, H. J. y Castro, L. F. (2015) Establecimiento y evaluación del guinea *Panicum maximum* cv. Massai en la hacienda Guachicono del Bordo, Patía (Cauca). Revista Ciencia Animal. Volumen 1. Número 9. Artículo 9. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=ca>
- Verdecia, D. M., Ramírez, J. L., Leonard, I. y García, F. (2009). Potencialidades agroproductivas de dos cultivares de *Panicum maximum* (c.v Mombasa y Uganda) en la provincia Granma (Agroproductive Potentialities of two cultivars of *Panicum maximum* (c.v Mombasa y Uganda) in the Granma).



CONTATO HUMANO POSITIVO POR ESTIMULAÇÃO TÁTIL TEM POTENCIAL PARA PROMOVER O BEM-ESTAR DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO

POSITIVE TACTILE STIMULATION HAS THE POTENTIAL TO PROMOTE FARM ANIMAL WELFARE

**Grajales-Cedeño, Joseph K.* Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.

joseph.grajales@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1021-3945>

Andrioli, Mayara. Universidade Estadual Paulista (Unesp): São Paulo, Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Brasil.

mayara.andrioli@unesp.br

<https://orcid.org/0000-0002-0708-357X>

Paranhos da Costa, Mateus J.R. Universidade Estadual Paulista (Unesp): São Paulo, Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Brasil.

mateus.paranhos@unesp.br

<https://orcid.org/0000-0002-0088-4008>

**Autor de Correspondencia:* joseph.grajales@up.ac.pa

Recibido: 22/01/2024

Aceptado: 28/03/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5168>

RESUMO. A estimulação tátil é definida como o contato manual ou mecânico entre dois ou mais indivíduos, sejam da mesma espécie ou de espécies diferentes, sendo classificada como positiva, neutra ou negativa, dependendo de sua natureza. As interações positivas entre humanos e animais têm recebido maior atenção devido ao seu potencial para melhorar o bem-estar animal. Evidências científicas indicam que a estimulação tátil positiva pode trazer benefícios a curto e longo prazo para os animais de produção, especialmente quando realizada em idade precoce, tornando-os mais capazes de enfrentar os desafios ambientais, o que pode melhorar a sua saúde e desempenho. Além dos benefícios para os animais, a adoção da estimulação tátil, entre outras boas práticas de manejo, tem potencial para reduzir as perdas de produção e o risco de acidentes entre os trabalhadores, além de tornar o trabalho mais eficiente. Vale ressaltar que esta prática também oferece a oportunidade de melhorar a imagem das cadeias produtivas da pecuária e representa uma valiosa contribuição para a promoção da sustentabilidade do setor pecuário. Portanto, todos os envolvidos na produção animal são responsáveis por melhorar as interações homem-animal através da implementação de boas práticas de manejo.

PALAVRAS CHAVE: aprendizagem, comportamento, interação humano-animal, boas práticas de manejo.

ABSTRACT. Tactile stimulation is defined as manual or mechanical contact between two or more individuals, whether of the same or different species, being classified as positive, neutral or negative, depending on their nature. Positive interactions between humans and animals have received greater attention due to their potential to improve animal welfare. Scientific evidence indicates that positive tactile stimulation can bring short and long-term benefits for farm animals, particularly when carried out at an early age, making them more capable of facing environmental challenges, which can improve their health and performance. In addition to the benefits for animals, the adoption of tactile stimulation, among other good management practices, has the potential to reduce production losses and the risk of accidents among workers, besides making work more efficient. It is worth highlighting that this practice also offers the opportunity to improve the image of livestock production chains and represents a valuable



contribution to promoting the sustainability of the livestock sector. Therefore, everybody involved in animal production is responsible for improving human-animal interactions by implementing good handling practices.

KEYWORDS: behavior, learning, human-animal interaction, good handling practices.

INTRODUÇÃO

Os consumidores estão cada vez mais exigentes em relação ao uso eficiente dos recursos globais e à prevenção de efeitos adversos no bem-estar humano e animal, assim como na manutenção do equilíbrio ambiental (Broom, 2017). Nesse contexto, é essencial entender o bem-estar animal como um elemento fundamental para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis para a produção animal (Broom, 2023). Há um movimento crescente junto à comunidade científica que defende que os animais de produção devem ter uma vida que valha a pena ser vivida (Mellor, 2016), o que reforça a necessidade de integrar considerações éticas e práticas sustentáveis no desenvolvimento estratégias para a criação e o manejo dos animais de produção, alinhando-se com as expectativas dos consumidores.

Um passo importante nesse sentido é definir estratégias para melhorar as relações humano-animal, tornando-as mais positivas, o que tem potencial para melhorar o bem-estar de ambos, humanos e animais, e o desempenho dos animais (Paranhos da Costa & Ceballos, 2021). Além disso, essa nova dinâmica de relações, mais favorável, contribui para a melhorar a imagem das cadeias produtivas da pecuária junto aos consumidores.

No contexto dos sistemas de produção animal, as interações táteis entre humanos e animais ocorrem com maior frequência em sistemas intensivos de produção (Hemsworth & Coleman, 2011) e isto nem sempre se dá de maneira positiva (Breuer et al., 2000). A literatura demonstra que quando essas interações são estabelecidas de maneira positiva, podem induzir emoções positivas e alterações hormonais benéficas (Rault et al., 2020) que são indicativos de boas condições de bem-estar animal (Hemsworth et al., 2018; Waiblinger, 2019), além de ter potencial para melhorar a eficiência reprodutiva e produtiva nas fazendas (Hemsworth & Coleman, 2011; Acharya et al., 2022).

Há evidências de que interações táteis positivas são mais efetivas quando aplicadas nas fases iniciais das vidas dos animais, quando se dá a socialização primária, caracterizada pelo estabelecimento de laços sociais duradouros (Petak, 2018) em função dos animais estarem em um período de maior sensibilidade para a formação de vínculos sociais (Bateson, 1979; Boissy & Bouissou, 1988). Esta janela de tempo pode ser estrategicamente utilizada no manejo para promover interações positivas, criar memórias favoráveis, reduzir a reatividade dos animais e, consequentemente, facilitar o manejo futuro (Paranhos da Costa, 2022).

No caso específico das fazendas de criação de bovinos de corte essas interações são frequentemente negativas desde o nascimento, começando quando o bezerro é laçado e arrastado, para logo ser contido pelo vaqueiro para realizar procedimentos como a cura de umbigo e tatuagem (Paranhos da Costa et al., 2014). Posteriormente, recebem outros procedimentos aversivos como a marcação a fogo, castração, entre outras práticas aversivas ao longo da vida, como por exemplo, bater porteiros contra o corpo do animal, torcer a cauda,



conduzir animais batendo com varas ou com uso de agulhões elétricos durante o manejo nos currais, transporte, leilões e até no frigorífico. Portanto, tudo isso atenta contra não só as premissas das boas práticas de bem-estar animal durante a realização dos manejos e, conseqüentemente, resulta em efeito negativo para a imagem da cadeia produtiva da bovinocultura de corte.

O objetivo desta revisão é descrever as implicações da adoção de interações táteis positivas como estratégia de manejo de animais de produção no bem-estar animal, com ênfase nos potenciais impactos na saúde, comportamento, fisiologia e desempenho dos animais.

Interações entre humanos e animais e suas implicações na pecuária de corte

A relação entre humanos e animais tem sido operacionalmente definida como uma abordagem voluntária e proximidade espacial, evidenciada pelos animais quando positivas, com sinais de antecipação, prazer, relaxamento ou outros indicadores de uma experiência gratificante proveniente da interação com humanos (Rault et al., 2020). A qualidade dessas interações em contextos de produção animal é influenciada por diversos fatores, incluindo as características individuais dos animais, como experiência prévia, variabilidade genética e predisposições comportamentais, bem como as características específicas dos humanos envolvidos, como familiaridade com os animais, atitudes, habilidades e conhecimentos. Adicionalmente, o ambiente de criação e trabalho desempenha um papel crucial nesse cenário complexo (Hemsworth & Coleman, 2011; Rault et al., 2020).

Essas interações englobam modalidades sensoriais diversas, como dimensões táteis, visuais, olfativas e auditivas, que podem ser interpretadas pelos animais como experiências negativas, neutras ou positivas, como apontado por Waiblinger et al. (2006). Tais interações desempenham um papel significativo na construção de relações a curto e longo prazo entre humanos e animais, conforme destacado por Hemsworth & Coleman (2011). Nesse contexto, esta revisão concentra-se especificamente nas interações táteis, explorando sua influência na dinâmica entre humanos e animais de produção.

Estudos sobre a dinâmica da interação humano-animal durante o manejo de recém-nascidos em fazendas dedicadas à produção de gado de corte indicam que manejo negativo ou aversivo resulta em maior reatividade tanto nos bezerros quanto nas vacas, afetando diretamente seu bem-estar (Costa et al., 2021). Além disso, aumenta o risco de lesões para animais e humanos, bem como em danos às instalações (Paranhos da Costa, 2000).

Existem evidências que o manejo de animais por meio de interações positivas melhora a eficiência do trabalho. Nesse sentido os estudos realizados em bovinos da raça Charolês durante manejos de pesagem em fazendas comerciais, mostraram que existem diferenças entre fazendas no tempo que os funcionários passaram batendo, empurrando, torcendo as caudas nos animais e, conseqüentemente, influenciando diretamente no tempo de manejo durante a rotina de trabalho (Destrez et al., 2018). Nesse estudo, os animais que receberam práticas de manejo positivas necessitaram de menos tempo para serem pesados em relação aos animais que receberam práticas neutras ou negativas; sendo explicado por uma menor reatividade, o que facilitou o manejo. Isso também foi comprovado na pesquisa de Lensink et al. (2001), em que os bezerros que receberam



um manejo positivo precisaram de menos esforço para serem embarcados em um caminhão do que aqueles que receberam tratamento aversivo.

Resultados de estudos com novilhas Nelore também demonstraram que quando o manejo é realizado de maneira inadequada (com golpes e gritos) os animais ficam mais reativos e estressados, o que aumenta o risco de acidentes e reduz a eficiência reprodutiva quando comparados aos animais que não tiveram problemas durante o manejo (Ceballos et al., 2018a). Esse mesmo grupo de pesquisa fez outro estudo com machos da raça Nelore em pastejo rotacionado de quatro dias, e demonstraram velocidades de saída menores em relação ao grupo de manejo de baixa frequência com períodos de pastagem de vinte dias (Ceballos et al., 2018b). O sequestro de bezerras em confinamento durante a estação seca reduziu a reatividade em comparação com aqueles mantidos em pastagem (Vasconcelos et al., 2018).

Técnicas de aprendizagem, como a habituação à interação humana em novilhas Braford e Brahman-Angus, também resultaram na redução da reatividade e da concentração de cortisol plasmático e melhor no desempenho reprodutivo (Cooke et al., 2009; 2012). Aprimoramentos nas interações humano-animal podem ser alcançados por meio de adaptações nos currais e adoção de práticas de manejo de baixo estresse (Paranhos da Costa, 2022; Grandin, 2021). Em gado Nelore, pequenas alterações no curral e melhorias no manejo, como a eliminação de cães, bastão elétrico e gritos, resultaram em animais menos reativos, redução do tempo de trabalho e menores níveis de cortisol em comparação com um grupo controle (Lima et al., 2018).

Mudanças de baixo custo no embarque e transporte dos bovinos têm repercussões significativas na qualidade e quantidade de carne, afetando a economia do pecuarista, por exemplo, quando o embarque é realizado sem gritos, empurrões, uso de bastão elétrico e sem mistura de grupos foi observada uma redução no número de hematomas nas carcaças (Paranhos da Costa et al., 2008; Huertas et al., 2018). Embora as boas práticas de manejo tenham evoluído em fazendas comerciais de gado de corte nos últimos anos (Paranhos da Costa et al., 2019), a importância do treinamento contínuo é destacada, pois estudos mostram que a capacitação contínua resulta em atitudes e comportamentos consistentemente melhores com os bovinos ao longo do tempo (Ceballos et al., 2018c).

Interação tátil

As sensações táteis desempenham um papel fundamental na transmissão de estímulos ao sistema nervoso central, sendo mediadas por terminações nervosas sensoriais conectadas a receptores presentes nas estruturas somáticas (como pele e tecidos musculoesqueléticos) e viscerais. Estes receptores especializados, associados às extremidades das fibras nervosas, como as fibras C, são responsáveis por perceber estímulos táteis. Na pele, por exemplo, encontramos mecanorreceptores sensíveis a toques leves, como o corpúsculo de Meissner, e receptores de pressão de toque, como o corpúsculo de Pacini. Este último possui um terminal nervoso circundado por camadas de células e fluido extracelular, resultando na geração de um estímulo elétrico que é transmitido ao cérebro (Riley et al., 2022).

A interação tátil é definida como o contato manual ou mecânico entre indivíduos, podendo ocorrer entre seres da mesma espécie ou de espécies diferentes (McBride et al., 2004; Bolognesi



et al., 2019). Essa interação pode ser considerada positiva quando realizada através de práticas como massagem ou escovação, que visam manipular os músculos e os tecidos moles do corpo (McBride et al., 2004), contribuindo para melhorias na interação humano-animal e promovendo estados afetivos positivos (Rault et al., 2020).

Na natureza, a formação de vínculos sociais entre animais é frequentemente mediada por carícias, afagos, toques na pele (Field, 1998) e lambidas (Porter et al., 1994).

Interações táteis, como a execução de massagens após o nascimento, procuram simular a lambida materna que estimula funções vitais nos recém-nascidos, incluindo respiração, circulação, urinação, defecação e termorregulação (Metz e Metz, 1986). Além disso, existe a formação de vínculos sociais dentro do grupo e desempenha funções adaptativas como higiene (Sato et al., 1991), prazer (Boissy et al., 2007) e redução da tensão nos grupos de animais (Sato et al., 1993). A interação tátil, especialmente através de escovação associada ao treinamento e habituação à presença humana na sala de ordenha, tem demonstrado melhorar a adaptação de novilhas leiteiras, especialmente zebuínas e seus cruzamentos, ao ambiente de ordenha (da Silva et al., 2021). Isso não apenas reduz o medo dos humanos e das instalações de manejo, com variações individuais significativas (Paranhos da Costa et al., 2021), mas também reduz durante a primeira lactação e melhora a ejeção do leite (Ujita et al., 2021). Um estudo destaca que vacas manejadas de forma calma e positiva, juntamente com interações táteis não aversivas, produzem mais leite em comparação com aquelas que são submetidas a golpes ou torções na cauda (Saito & Seo, 2020).

Embora ferramentas como escovas automáticas sejam utilizadas em alguns casos, eliminando a interação tátil direta com humanos, elas oferecem aos animais a autonomia para decidir quando e quantas vezes interagir com o equipamento para se esfregar ou coçar. Relatos positivos dessa abordagem foram observados em vacas leiteiras (Schukken & Young, 2009), bezerros leiteiros (Strappinni et al., 2021), bovinos em confinamento (Park et al., 2020) e equinos (Lansade et al., 2022). No entanto, esta revisão se concentrará especificamente nas interações táteis entre humanos e animais, especialmente quando ocorrem em idade precoce em animais de produção.

Efeito das interações táteis no comportamento

Quando um animal é exposto a desafios ou estressores, como as interações táteis negativas promovidas pelos seres humanos, ele pode reagir por meio de quatro tipos de respostas biológicas inter-relacionadas: respostas comportamentais, respostas do sistema nervoso autônomo, respostas do sistema neuroendócrino e respostas do sistema imunológico (Moberg, 2000; Hemsworth & Coleman, 2011). Portanto, é crucial compreender o mundo sensorial e perceptivo dos animais para realizar um manejo adequado (Grandin, 2021).

Em bovinos leiteiros, por exemplo, o contato tátil não aversivo foi associado a emoções positivas durante as interações com humanos (Lange et al., 2020, 2021). No entanto, as reações podem variar dependendo da região do corpo estimulada, como evidenciado por Schmied et al. (2008), que observaram maior expressão de reações positivas, como alongamento do pescoço, ao serem acariciadas na parte ventral do pescoço em comparação com o peito lateral.



Há evidências que quando as interações táteis foram realizadas durante os primeiros dias de vida, independentemente da localização, frequência e duração em que foi feita; diminuiu o medo e facilitou o manejo em diversas espécies, como é o caso das cordeiros (Boivin et al., 2000; 2001; 2002; de Oliveira, 2013; Tallet et al., 2005), cabritos (Boivin & Braastad, 1996), potros (Ligout et al., 2008; Pereira-Figueiredo et al., 2017; Søndergaard & Jago, 2010), coelhos (Verwer et al., 2009), leitões (de Oliveira et al., 2015) e bezerros (Krohn et al., 2001; 2003). Além de isso, em uma espécie territorial, como é a tilápia do Nilo, reduziu-se a agressividade (Bolognesi et al., 2019).

Por outro lado, em bezerros Holstein × Gir, boas práticas de manejo, incluindo manutenção em grupo, aleitamento com baldes com bicos, estimulação tátil durante a amamentação e desmame progressivo, resultaram em redução do medo aos humanos e melhorias nas interações humano-animal ao longo dos 318 dias de vida (Silva et al., 2017). Resultados similares foram observados um estudo realizado em bezerros cruzados com Limousin, que receberam a estimulação tátil a partir do segundo dia de vida, por seis dias, totalizando 120 minutos de contato, demonstraram efeitos persistentes a longo prazo na redução da distância de fuga (Probst et al., 2012).

Os efeitos do manuseio precoce na reatividade subsequente das novilhas aos seres humanos e a situações desconhecidas foi testada por Boissy e Bouissou (1988). Nesse estudo as bezerras foram escovadas duas vezes por dia e conduzidas com cabrestos, em períodos diferentes da vida: 3 dias por semana de 0 a 3 meses de idade; 3 dias por semana, entre 6 e 9 meses de idade; ou 3 dias por mês de 0 a 9 meses de idade; e indicaram que as bezerras que foram manejadas três vezes por mês durante nove meses, apresentaram menores respostas de evitação aos humanos aos quinze meses de idade, e sugeriram que esses efeitos são melhores quando realizados em idade precoce.

Em ovelhas, a escovação resultou em estados positivos, evidenciados por mudanças na postura corporal, como a posição das orelhas, a proporção de olhos fechados, o abanar da cauda e o comportamento alimentar (Tamioso et al., 2018).

Estudos sobre a estimulação tátil em *Bos indicus*, considerados animais mais reativos em relação ao *Bos taurus* (Cooke 2014), são escassos. Resultados de um estudo com bezerros Aberdeen Angus x Nelore (F1) mostraram que os bezerros que receberam estimulação tátil apresentaram reações mais positivas aos procedimentos de manejo que os que não receberam, embora tenha sido observadas diferenças individuais na forma com que os bezerros reagiram a estimulação (Parra Cerezo et al., 2021). Além de promover mudanças positivas no comportamento animal, em fazendas que adotaram esse conceito, as atitudes dos vaqueiros em relação aos animais também mudam, como relatado por Paranhos da Costa (2022).

Os estudos mencionados anteriormente corroboram a relevância das interações positivas entre humanos e animais, especialmente no que diz respeito à redução da reatividade. Essa importância fundamenta-se na observação de que bovinos de temperamento tranquilo lidam de maneira mais eficaz com situações novas durante o manejo quando comparados a animais mais reativos (Müller & von Keyserlingk, 2006). Indivíduos reativos, por sua vez, experimentam maior nível de estresse durante as práticas de manejo, devido à maior ativação do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (Curley et al., 2008; Braga et al., 2018). Portanto, é importante a adoção de boas práticas



de manejo que promovam interações positivas entre humanos e animais, como é o caso do contato tátil, o qual impacta diretamente na melhoria das respostas comportamentais e facilita o manejo do gado nas fazendas.

Interações táteis e implicações nos parâmetros fisiológicos

Os primeiros estudos sobre este tema foram conduzidos em ratos e indicam que esses animais, quando expostos à estimulação tátil, abriram os olhos, apresentaram capacidade locomotora e foram desmamados mais precocemente em comparação com os animais que não receberam tal estímulo (Levine et al., 1957). A estimulação tátil durante os estágios iniciais da vida demonstrou impacto na ativação do sistema nervoso simpático e endócrino, levando à maturação do sistema nervoso central, conforme expresso por Levine (1960). Essa estimulação resultou em mudanças nas estruturas cerebrais e na reorganização sináptica neuronal (Kolb et al., 2003), além de promover o aumento no número de dendritos e sinapses nervosas (Kolb et al., 2010).

Os estudos conduzidos por Kolb et al. (2003) indicaram que a estimulação tátil teve um impacto positivo nas habilidades motoras e cognitivas na idade adulta em ratos, sugerindo que esses animais estavam mais preparados para enfrentar condições ambientais desafiadoras. Na mesma espécie, a estimulação tátil demonstrou promover a liberação de ocitocina, resultando na diminuição da frequência cardíaca, pressão arterial e concentração de cortisol plasmático (Uvnäs-Moberg e Petersson, 2005). Além disso, estudos em humanos mostraram uma redução de 31% nos níveis de cortisol e um aumento de 28% e 31% nos níveis de serotonina e dopamina, respectivamente (Field et al., 2005).

No contexto de animais de produção, os estudos iniciais especularam que as mudanças fisiológicas observadas em ratos também se aplicavam a espécies zootécnicas. Atualmente, há evidências de que a estimulação tátil promove um estado de relaxamento, reduzindo a frequência cardíaca em leitões (Tallet et al., 2014), cordeiros (Coulon et al., 2013), ovelhas (Tamioso et al., 2018) e vacas leiteiras (Schmied et al., 2010; Lange et al., 2021).

Bezerras Girolando, sem a presença da mãe nas primeiras 24 horas, que receberam estimulação tátil por cinco minutos diários durante o aleitamento até o desmame, apresentaram menor frequência cardíaca aos 30 e 90 dias, assim como menor temperatura retal aos 90 e 120 dias em comparação com o grupo controle. Além disso, exibiram maior concentração de ocitocina nas primeiras 48 horas de vida (Magalhães Silva, 2015).

Há evidências de que bezerros leiteiros associam a massagem durante a criação a uma experiência positiva (Lensink et al., 2000a), apresentando frequências cardíacas mais baixas durante o embarque em comparação com aqueles que receberam interações negativas, como bater e gritar (Lensink et al., 2001b, c). Esse mesmo grupo de pesquisa observou menor agitação, menor defecação durante o manuseio durante o transporte e maior potencial glicólico em bezerros submetidos à massagem (Lensink et al., 2000d).

Em equinos, estudos indicam que interações táteis, como massagens prolongadas e suaves em áreas preferidas, resultam em diminuição da frequência cardíaca e induzem um comportamento mais relaxado (McBride et al., 2004). Esta conclusão foi confirmada em estudos com equinos de



corrida, nos quais sessões diárias de massagens no pescoço, escápula, nádegas e membros traseiros resultaram em diminuição da frequência cardíaca e cortisol, além de melhoria no desempenho durante as corridas. Vale ressaltar que a massagem foi mais eficaz quando realizada diariamente em comparação com a realização um dia antes da corrida (Kędzierski et al., 2017). Resultados de um estudo realizado por Probst et al. (2012) em bezerros Limousin demonstraram uma redução nos níveis de cortisol no matadouro, indicando um efeito a longo prazo na resposta ao estresse. Interações táteis positivas antes de procedimentos aversivos, como a palpação retal em vacas leiteiras, reduziram a frequência cardíaca (Waiblinger et al., 2004; Schmied et al., 2010). Da mesma forma, em cordeiros que receberam interação positiva com os humanos e foram submetidos ao corte de cauda, apresentaram menor frequência cardíaca e redução nas concentrações de cortisol em relação àqueles que foram submetidos a interação negativa (Tosi & Hemsworth, 2002).

Independentemente da idade em que ocorreu a interação tátil e da espécie animal, os resultados mencionados são consistentemente positivos na redução da resposta ao estresse em várias situações e contextos. Isso é atribuído a uma menor ativação dos sistemas simpático e do eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, indicando que animais submetidos a um manejo gentil, por meio de interações táteis, apresentam maior plasticidade e enfrentam de forma mais eficiente os desafios ao longo de suas vidas.

Efeitos da interação tátil no desempenho produtivo e saúde

Em vacas leiteiras, Rushen et al. (1999) observaram que um ordenhador que utilizava métodos aversivos, como bater ou aplicar choques elétricos nas vacas por cinco dias consecutivos, resultou em um aumento de 70% no leite residual. Resultados similares foram reportados por Waiblinger et al. (2002), indicando que a frequência de comportamentos negativos dos criadores estava negativamente correlacionada com a produção de leite em fazendas comerciais. Em contrapartida, um estudo com novilhas zebuínas que receberam estimulação tátil positiva e treinamento de rotina de ordenha demonstrou uma melhoria na ejeção do leite (Ujita et al., 2021). No contexto da produção animal, poucos estudos exploraram os efeitos da estimulação tátil em filhotes sobre parâmetros produtivos. No entanto, pesquisas com bezerras leiteiras indicaram que a massagem na parte ventral do pescoço resultou em um aumento do ganho de peso diário entre o nascimento e o desmame (Lürzel et al., 2015). Em fazendas comerciais, interações positivas, como tocar, acariciar, falar suavemente e permitir que os bezerros chupem os dedos dos funcionários, foram associadas a maior ganho de peso e menor mortalidade (Lensink et al., 2000a). Bezerras Girolando que receberam estimulação tátil demonstraram melhor desempenho em termos de peso e ganho médio diário aos 90 e 120 dias de idade (Magalhães Silva, 2015). A autora sugere que esses efeitos positivos podem ser atribuídos a melhorias nas variáveis comportamentais, fisiológicas e de saúde, indicando um impacto positivo no bem-estar animal. A estimulação tátil diária em cordeiros Santa Inês durante cinco minutos resultou em um maior desenvolvimento corporal (14%) e ganho de peso total em comparação com os animais não estimulados (de Oliveira, 2013). Em bovinos de corte, bezerros cruzados com Limousin que receberam estimulação tátil apresentaram melhor qualidade da carne ao abate (Probst et al., 2012).



Quanto à saúde, bezerras que receberam boas práticas de manejo associadas à estimulação tátil durante a alimentação apresentaram uma redução significativa na taxa de mortalidade (72%) e no uso de antibióticos até o desmame (50%). Os pesquisadores atribuem esses resultados à interação mais próxima, permitindo a identificação precoce de sinais clínicos de doenças e o tratamento adequado (Silva-Antunes e Paranhos da Costa, 2021).

Em cabritos, a estimulação tátil reduziu a frequência de sinais clínicos de doenças respiratórias, como corrimento nasal (Andrioli et al., 2018). Em cordeiros, melhorou a resposta imune (Caroprese et al., 2006) e em bezerros, reduziu as lesões do abomaso durante o transporte (Lensink et al., 2000d). Esses estudos indicam que a estimulação tátil tem um impacto direto na saúde, diminuindo o risco de enfermidades e, conseqüentemente, as despesas com tratamentos nos animais, o que impacta positivamente na economia do produtor.

Os resultados das pesquisas mencionadas em relação ao bem-estar animal podem ser interpretados à luz do modelo dos cinco domínios do bem-estar animal (Mellor et al., 2020). Por exemplo, animais que experimentaram interações táteis positivas, como massagem ou escovação, apresentaram melhorias nas interações comportamentais (domínio 4), reduzindo a reatividade e facilitando o manejo, o que influencia positivamente o ambiente (domínio 2). Isso resulta em menor estresse para animais e pessoas durante as sessões de trabalho, apresentando, conseqüentemente, efeitos positivos na saúde (domínio 3), diminuindo os riscos de acidentes e doenças e reduzindo a mortalidade. Tudo isso permite que os animais tenham uma maior ingestão de alimentos (domínio 1: Nutrição) e, em conjunto, diminuam a probabilidade de os animais sentirem medo, dor e desconforto, impactando positivamente o estado mental (domínio 5) e promovendo um estado geral de bem-estar positivo. Em contraste, interações táteis negativas podem desencadear círculos viciosos, comprometendo os domínios físicos e estados mentais, resultando em um estado de bem-estar negativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Contatos táteis positivos ao longo da vida dos animais, durante breves momentos melhoram suas interações com os humanos. Para assegurar a consistência e positividade dessas interações, é imperativo realizar treinamentos regulares para os funcionários, aliados à prática diária no manejo dos animais em granjas e fazendas. Essa abordagem não apenas repercute de maneira favorável nas respostas comportamentais e fisiológicas dos animais, mas também contribui significativamente para o bem-estar tanto dos animais quanto das pessoas envolvidas. Além disso, reflete positivamente na qualidade do produto, desempenhando um papel crucial na vitalidade econômica das fazendas. Vale destacar que tal prática não só oferece a oportunidade de aprimorar a imagem da pecuária, mas também representa uma valiosa contribuição para a sustentabilidade do setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- Acharya, R. Y., Hemsworth, P. H., Coleman, G. J., & Kinder, J. E. (2022). The animal-human interface in farm animal production: Animal fear, stress, reproduction and welfare. *Animals*, 12(4), 487. <https://doi.org/10.3390/ani12040487>
- Andrioli, M., Carvalhal M. V. L., Almeida, D. H. S., Santos, C. C. C., Biliu, A. S., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2018). Os efeitos positivos da estimulação tátil na saúde de cabritos leiteiros. In: VI Congreso AUPA, Asociación Uruguaya de Producción Animal, 2018, Tacuarembó, Uruguay. INIA, 2018. p. 147 (abstract).
- Bateson, P. (1979). How do sensitive periods arise and what are they for? *Animal Behavior*, 27, 470-486. [https://doi.org/10.1016/0003-3472\(79\)90184-2](https://doi.org/10.1016/0003-3472(79)90184-2)
- Boivin, X., & Braastad, B. O. (1996). Effects of handling during temporary isolation after early weaning on goat kids' later response to humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 48(1-2), 61-71. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)01019-X](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)01019-X)
- Boivin, X., Tournadre, H., & Le Neindre, P. (2000). Hand-feeding and gentling influence early weaned lambs' attachment responses to their stockperson. *Journal of Animal Science*, 78(4), 879. <https://doi.org/10.2527/2000.784879x>
- Boivin, X., Nowak, R., & Garcia, A. T. (2001). The presence of the dam affects the efficiency of gentling and feeding on the early establishment of the stockperson-lamb relationship. *Applied Animal Behaviour Science*, 72(2), 89-103. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00201-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00201-X)
- Boivin, X., Boissy, A., Nowak, R., Henry, C., Tournadre, H., & le Neindre, P. (2002). Maternal presence limits the effects of early bottle feeding and petting on lambs' socialization to the stockperson. *Applied Animal Behaviour Science*, 77(4), 311-328. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00084-9)
- Boissy, A., & Bouissou, M. F. (1988). Effects of early handling on heifers' subsequent reactivity to humans and to unfamiliar situations. *Applied Animal Behaviour Science*, 20(3-4), 259-273. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(88\)90051-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(88)90051-2)
- Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M. B., Moe, R. O., Spruijt, B., Keeling, L. J., Winckler, C., Forkman, B., Dimitrov, I., Langbein, J., Bakken, M., Veissier, I., & Aubert, A. (2007). Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology and Behavior*, 92(3), 375-397. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.02.003>
- Bolognesi, M. C., dos Santos Gauy, A. C., & Gonçalves-de-Freitas, E. (2019). Tactile stimulation reduces aggressiveness but does not lower stress in a territorial fish. *Scientific Reports*, 9(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36876-1>
- Braga, J. S., Faucitano, L., Macitelli, F., Sant'Anna, A. C., Méthot, S., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2018). Temperament effects on performance and adaptability of Nellore young bulls to the feedlot environment. *Livestock Science*, 216, 88-93. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2018.07.009>



- Breuer, K., Hemsworth, P. H., Barnett, J. L., Matthews, L. R., & Coleman, G. J. (2000). Behavioural response to humans and the productivity of commercial dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 66(4), 273-288. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00097-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00097-0)
- Broom, D.M. (2017). Sustainability and the role of animal welfare. In. Proceedings of the 33rd World Veterinary Congress, p. 632-635. Incheon Korea, World Veterinary Association. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/328878901_Sustainability_and_the_role_of_animal_welfare. Acesso em 11 de fevereiro de 2024.
- Broom, D.M. (2023). The sustainability of cattle production systems. In: Haskell, M. (Eds.) *Cattle Welfare in Dairy and Beef Systems*, p. 351-377. Springer: Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21020-4_13
- Caroprese, M., Napolitano, F., Albenzio, M., Annicchiarico, G., Musto, M., & Sevi, A. (2006). Influence of gentling on lamb immune response and human-lamb interactions. *Applied Animal Behaviour Science*, 99(1-2), 118-131. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2005.08.023>
- Ceballos, M. C., Sant'Anna, A. C., Góis, K. C. R., Ferraudo, A. S., Negrao, J. A., & da Costa, M. J. R. P. (2018a). Investigating the relationship between human-animal interactions, reactivity, stress response and reproductive performance in Nellore heifers. *Livestock Science*, 217, 65-75. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2018.08.001>
- Ceballos, M. C., Góis, K. C. R., Sant'Anna, A. C., & Paranhos Da Costa, M. J. R. (2018b). Frequent handling of grazing beef cattle maintained under the rotational stocking method improves temperament over time. *Animal Production Science*, 58(2), 307-313. <https://doi.org/10.1071/NA16025>
- Ceballos, M. C., Sant'Anna, A. C., Boivin, X., Costa, F. de O., Carvalhal, M. V. de L., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2018c). Impact of good practices of handling training on beef cattle welfare and stockpeople attitudes and behaviors. *Livestock Science*, 216, 24-31. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2018.06.019>
- Cooke, R. F., Arthington, J. D., Araujo, D. B., & Lamb, G. C. (2009). Effects of acclimation to human interaction on performance, temperament, physiological responses, and pregnancy rates of Brahman-crossbred cows. *Journal of Animal Science*, 87(12), 4125-4132. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2021>
- Cooke, R. F., Bohnert, D. W., Cappelozza, B. I., Mueller, C. J., & del Curto, T. (2012). Effects of temperament and acclimation to handling on reproductive performance of *Bos taurus* beef females. *Journal of Animal Science*, 90(10), 3547-3555. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4768>
- Cooke, R. F. (2014). Bill E. Kunkle Interdisciplinary Beef Symposium: Temperament and acclimation to human handling influence growth, health, and reproductive responses in



- Bos taurus and Bos indicus cattle. *Journal of Animal Science*, 92(12), 5325–5333. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8017>
- Costa, F. de O., Valente, T. S., de Toledo, L. M., Ambrósio, L. A., del Campo, M., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2021). A conceptual model of the human-animal relationships dynamics during newborn handling on cow-calf operation farms. *Livestock Science*, 246, 104462. <http://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2021.104462>
- Coulon, M., Nowak, R., Andanson, S., Ravel, C., Marnet, P.G., Boissy, A., & Boivin, X. (2013). Human–lamb bonding: Oxytocin, cortisol and behavioural responses of lambs to human contacts and social separation. *Psychoneuroendocrinology* 38, 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2012.07.008>
- Curley, K. O., Neuendorff, D. A., Lewis, A. W., Cleere, J. J., Welsh, T. H., & Randel, R. D. (2008). Functional characteristics of the bovine hypothalamic-pituitary-adrenal axis vary with temperament. *Hormones and Behavior*, 53(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.08.005>
- da Silva, P. M. R. S., Ferreira, I. C., da Fonseca Neto, Á. M., Malaquias, J. V., de Pinho, G. A. S., de Oliveira, S. A. S., & Martins, C. F. (2021). Does environmental enrichment consisting of brushing prepartum zebu heifers improve first-lactation behavior? *Applied Animal Behaviour Science*, 234, 105206, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105206>
- de Oliveira, D. (2013). Potenciais efeitos da estimulação tátil no comportamento e desenvolvimento de cordeiros e leitões. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013. <http://hdl.handle.net/11449/104880>
- de Oliveira, D., Paranhos da Costa, M. J. R., Zupan, M., Rehn, T., & Keeling, L. J. (2015). Early human handling in non-weaned piglets: Effects on behaviour and body weight. *Applied Animal Behaviour Science*, 164, 56–63. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2015.01.002>
- Destrez, A., Haslin, E., & Boivin, X. (2018). What stockperson behavior during weighing reveals about the relationship between humans and suckling beef cattle: A preliminary study. *Applied Animal Behaviour Science*, 209, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.10.001>
- Field, T. M. (1998). Touch therapies. In: Hoffman, R.; Sherrick, M. F.; Warm, J. S (Eds.). *Viewing Psychology as a Whole: The Integrative Science of William N. Dember*, p. 603-624. American Psychological Association: Washington, DC, USA.
- Field, T., Hernandez-Reif, M., Diego, M., Schanberg, S., & Kuhn, C. (2005). Cortisol decreases and serotonin and dopamine increase following massage therapy. *International Journal of Neuroscience*, 115(10), 1397–1413. <https://doi.org/10.1080/00207450590956459>



- Grandin, T. (2021). How to improve livestock handling and reduce stress. In: Grandin, T. (Ed.) *Improving Animal Welfare: A Practical Approach*, 3rd ed., p. 143-188. CABI: Wallingford, UK, .
- Hemsworth, P. H., & Coleman, G. J. (2011). *Human-Livestock Interactions*, 2nd ed. CABI: Wallingford, UK.
- Hemsworth P. H., Sherwen, S.L., Coleman, (2018). Human contact. In: Appleby, M. C., Olsson, I. A. S., & Galindo, F. *Animal Welfare*, 3rd ed., p. 294-314. Wallingford: CABI International: Wallingford, UK. <https://doi.org/10.1079/9781786390202.0294>
- Huertas, S. M., Kempener, R. E. A. M., & Van Eerdenburg, F. J. C. (2018). Relation between methods of loading and unloading, carcass bruising and animal welfare in the transportation of extensively reared beef cattle. *Animals* 8, 119. <https://doi.org/10.3390/ani8070119>
- Kędzierski, W., Janczarek, I., Stachurska, A., & Wilk, I. (2017). Comparison of effects of different relaxing massage frequencies and different music hours on reducing Stress Level in race horses. *Journal of Equine Veterinary Science*, 53, 100–107. <https://doi.org/10.1016/J.JEVS.2017.02.004>
- Kolb, B., Gibb, R., & Robinson, T. E. (2003). Brain plasticity and behavior. *American Psychological Society*, 12(1), 1-5. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01210>
- Kolb, B., Gibb, R., & Gorny, G. (2010). Cortical plasticity and the development of behavior after early frontal cortical injury. *Developmental Neuropsychology* 18(3), 423–444. <https://doi.org/10.1207/S1532694208KOLB>
- Krohn, C.C., Jago, J.G. & Boivin X. (2001). The effect of early handling on the socialization of young calves to humans. *Applied Animal Behaviour Science*, 74, 121–133. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00161-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00161-7)
- Krohn, C. C., Boivin, X., Jago, J. G. (2003). The presence of the dam during handling prevents the socialization of young calves to humans. *Applied Animal Behaviour Science* 80, 263–275. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00230-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00230-7)
- Lange, A., Waiblinger, S., Heinke, A., Barth, K., Futschik, A., & Lürzel, S. (2020). Gentle interactions with restrained and free-moving cows: Effects on the improvement of the animal-human relationship. *PloS One*, 15(11), e0242873. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242873>
- Lange, A., Waiblinger, S., van Hasselt, R., Mundry, R., Futschik, A., & Lürzel, S. (2021). Effects of restraint on heifers during gentle human-animal interactions. *Applied Animal Behaviour Science*, 243, 105445. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2021.105445>
- Lansade, L., Lemarchand, J., Reigner, F., Arnould, C., & Bertin, A. (2022). Automatic brushes induce positive emotions and foster positive social interactions in group-housed horses.



- Applied Animal Behaviour Science, 246, 105538.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105538>
- Lensink, B. J., Boivin, X., Pradel, P., Le Neindre, P., & Veissier, I. (2000a). Reducing veal calves' reactivity to people by providing additional human contact. *Journal of Animal Science*, 78(5), 1213–1218. <https://doi.org/10.2527/2000.7851213x>
- Lensink, J., Boissy, A., & Veissier, I. (2000b). The relationship between farmers' attitude and behaviour towards calves, and productivity of veal units. *Animal Research*, 49(4), 313–327. <https://doi.org/10.1051/animres:2000122>
- Lensink, B. J., Fernandez, X., Boivin, X., & Pradel, P. (2000c). The impact of gentle contacts on ease of handling, welfare, and growth of calves and on quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 78(5), 1219–1226. <https://doi.org/10.2527/2000.7851219x>
- Lensink, B. J., Fernandez, X., Boivin, X., & Pradel, P. (2000d). The impact of gentle contacts on ease of handling, welfare, and growth of calves and on quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 78(5), 1219–1226. <https://doi.org/10.2527/2000.7851219x>
- Lensink, B. J., Fernandez, X., Cozzi, G., Florand, L., & Veissier, I. (2001). The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 79(3), 642–652. <https://doi.org/10.2527/2001.793642X>
- Levine, S. (1960). Stimulation in Infancy. *Scientific American*, 202(5), 80–87. <http://www.jstor.org/stable/24940479>
- Levine, S. (1957). Infantile experience and resistance to physiological stress. *Science*, 126(3270), 405. <http://doi.org/10.1126/science.126.3270.405.a>
- Ligout, S., Bouissou, M. F., & Boivin, X. (2008). Comparison of the effects of two different handling methods on the subsequent behaviour of Anglo-Arabian foals toward humans and handling. *Applied Animal Behaviour Science*, 113(1–3), 175–188. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2007.12.004>
- Lima, M. L. P., Negrão, J. A., de Paz, C. C. P., & Grandin, T. (2018). Minor corral changes and adoption of good handling practices can improve the behavior and reduce cortisol release in Nellore cows. *Tropical Animal Health Production*, 50, 525–530. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1463-9>
- Lürzel, S., Münsch, C., Windschnurer, I., Futschik, A., Palme, R., & Waiblinger, S. (2015). The influence of gentle interactions on avoidance distance towards humans, weight gain and physiological parameters in group-housed dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 172, 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.09.004>
- Magalhães Silva, L. (2015). Avaliação dos benefícios da adoção de boas práticas de manejo no bem-estar de bezerros leiteiros. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 99 p. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/cd4c8ef1-80f4-45cc-85d0-55d698ac8568> (acesso em 11 de fevereiro de 2024).



- McBride, S. D., Hemmings, A., & Robinson, K. (2004). A preliminary study on the effect of massage to reduce stress in the horse. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2(24), 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2004.01.014>
- Mellor, D. (2016). Updating animal welfare thinking: Moving beyond the “Five Freedoms” towards “A Life Worth Living.” *Animals*, 6(3), 21. <https://doi.org/10.3390/ani6030021>
- Mellor, D. J., Beausoleil, N. J., Littlewood, K. E., McLean, A. N., McGreevy, P. D., Jones, B., & Wilkins, C. (2020). The 2020 Five Domains Model: Including Human–Animal Interactions in Assessments of Animal Welfare. *Animals*, 10(10), 1870. <https://doi.org/10.3390/ani10101870>
- Metz, J., & Metz, J. H. M. (1986). Maternal influence on defecation and urination in the newborn calf. *Applied Animal Behaviour Science*, 16(4), 325–333. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(86\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0168-1591(86)90004-3)
- Moberg, G.P. (2000). Biological response to stress: implications for animal welfare. In: Moberg, G. P., & Mench, J. A. *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare*, p. 1-21. CAB International: Wallingford, UK,
- Müller, R., & von Keyserlingk, M. A. G. (2006). Consistency of flight speed and its correlation to productivity and to personality in *Bos taurus* beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 99(3–4), 193–204. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2005.05.012>
- Paranhos da Costa, M. J. R. (2000). Ambiência na produção de bovinos de corte a pasto. In: Encontro Anual de Etologia, 18, p. 26-42, Florianópolis-SC. SBET: São Paulo, SP, Brasil. Disponível em: <http://www.etologiabrasil.org.br/eae/encontro-anual-de-etologia-2000/> (acesso em 11 de fevereiro de 2024).
- Paranhos da Costa, M.J.R., Quintiliano, M.H., & Spironelli, A.L.G. (2008). Boas Práticas de Manejo: Embarque. Editora FUNEP: Jaboticabal, SP, Brasil. Disponível em: <http://www.grupoetco.org.br/downloads.html> (acesso em 11 de fevereiro de 2024).
- Paranhos da Costa, M.J., Schmiddek, A., & Macedo de Toledo, L. (2014). Boas Práticas de Manejo: Bezerros ao Nascimento. Editora Funep: Jaboticabal, SP, Brasil. Disponível em: <http://www.grupoetco.org.br/downloads.html> (Acesso em 11 de fevereiro de 2024).
- Paranhos da Costa, M. J. R., Huertas, S.M., & Gallo C. (2019). Handling and transport of cattle and pigs in South America. In: Grandin, T. (Ed.) *Livestock Handling and Transport*, 5th ed., p. 184-205. CAB International: Wallingford UK.
- Paranhos da Costa, M. J. R., & Ceballos, M. (2021). Benefícios econômicos e sociais relacionados à promoção do bem-estar de bovinos leiteiros e de corte. *Revista Facultad Nacional de Agronomia*, 74(S17-24), 21-24.
- Paranhos da Costa, M. J. R., Taborda, P. A. B., Carvalhal, M. V. L., & Valente, T. S. (2021). Individual differences in the behavioral responsiveness of F1 Holstein-Gyr heifers to the



- training for milking routine. *Applied Animal Behaviour Science*, 241, 105384. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2021.105384>
- Paranhos da Costa, M. J. R. (2022). Bem-estar animal: Avanço na adoção de boas práticas. Bovinos. Inovação sustentabilidade e mercado do Brasil, p 153-168. Editora Metalivros: São Paulo, SP, Brasil.
- Park, R. M., Schubach, K. M., Cooke, R. F., Herring, A. D., Jennings, J. S., & Daigle, C. L. (2020). Impact of a cattle brush on feedlot steer behavior, productivity and stress physiology. *Applied Animal Behaviour Science*, 228, 104995. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2020.104995>
- Parra Cerezo, M., Brusin, V., Trindade, P., Jung, J., Berg, C., Hernandez, A., & Paranhos da Costa, M. (2021). Individual differences in the reactions of newborn Nellore calves to first handling procedures. 54th Congress of the ISAE, Proceedings..., p. 206. Disponível em: https://www.applied-ethology.org/ISAE_Meetings.html (acesso em 11 de fevereiro de 2024),
- Pereira-Figueiredo, I., Costa, H., Carro, J., Stilwell, G., & Rosa, I. (2017). Behavioural changes induced by handling at different timeframes in Lusitano yearling horses. *Applied Animal Behaviour Science*, 196, 36–43. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2017.06.016>
- Petak, I. (2018). Socialization. In: Vonk, J., Shackelford, T. (Eds.) *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*, p. 6546-6553 Springer: Cham, Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47829-6_1494-1
- Porter, R. H., Romeyer, A., Lévy, F., Krehbiel, D., & Nowak, R. (1994). Investigations of the nature of lambs' individual odour signatures. *Behavioural Process*, 31 (2-3), 301-308. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(94\)90015-9](https://doi.org/10.1016/0376-6357(94)90015-9)
- Probst, J. K., Spengler Neff, A., Leiber, F., Kreuzer, M., & Hillmann, E. (2012). Gentle touching in early life reduces avoidance distance and slaughter stress in beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 139(1–2), 42–49. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.03.002>
- Rault, J. L., Waiblinger, S., Boivin, X., & Hemsworth, P. (2020). The power of a positive human–animal relationship for animal welfare. *Frontiers in Veterinary Science* 7, 590867. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.590867>
- Riley, C. B., Greiger, S. E., & Fraser A. F. (2022). Sensory and Neurologic Faculties. In Riley, C. B., Cregier, S. E., & Fraser, A. (Eds.). *Fraser's the Behaviour and Welfare on the Horse*. 3rd ed., p. 31-32. CAB International: Wallingford, UK.
- Rushen, J., de Passillé, A. M. B., & Munksgaard, L. (1999). Fear of People by Cows and Effects on Milk Yield, Behavior, and Heart Rate at Milking. *Journal of Dairy Science*, 82(4), 720–727. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(99\)75289-6](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(99)75289-6)



- Saito, H., & Seo, T. (2020) Relation between stockperson behaviour towards cows in the holding area and milk production. *Animal Science Journal* 91(1), e13334. <https://doi.org/10.1111/asj.13334>
- Sato, S., Sako, S., & Maeda, A. (1991). Social licking patterns in cattle (*Bos taurus*): influence of environmental and social factors. *Applied Animal Behaviour Science*, 32(1), 3–12. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(05\)80158-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(05)80158-3)
- Sato, S., Tarumizu, K., & Hatae, K. (1993). The influence of social factors on allogrooming in cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 38(3–4), 235–244. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(93\)90022-H](https://doi.org/10.1016/0168-1591(93)90022-H)
- Schmied, C., Waiblinger, S., Scharl, T., Leisch, F., & Boivin, X. (2008). Stroking of different body regions by a human: Effects on behaviour and heart rate of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(1), 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.01.013>
- Schmied, C., Boivin, X., Scala, S., & Waiblinger, S. (2010). Effect of previous stroking on reactions to a veterinary procedure: behaviour and heart rate of dairy cows. *Interact Studies*, 11(3), 467–81. <https://doi.org/10.1075/is.11.3.08sch>
- Silva-Antunes, L. C. M., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2021). The adoption of good practices of handling improves dairy calves welfare: Case study. *Acta Scientiarum Animal Sciences*, 43(1). <https://doi.org/10.4025/ACTASCIANIMSCI.V43I1.53327>
- Silva, L. P., Sant’Anna, A. C., Silva, L. C. M., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2017). Long-term effects of good handling practices during the pre-weaning period of crossbred dairy heifer calves. *Tropical Animal Health and Production*, 49(1), 153–162. <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1174-7>
- Søndergaard, E., & Jago, J. (2010). The effect of early handling of foals on their reaction to handling, humans and novelty, and the foal–mare relationship. *Applied Animal Behaviour Science*, 123(3–4), 93–100. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2010.01.006>
- Strappini, A. C., Monti, G., Sepúlveda-Varas, P., de Freslon, I., & Peralta, J. M. (2021). Measuring calves’ usage of multiple environmental enrichment objects provided simultaneously. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 1109. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.698681>
- Schukken, Y. H., & Young, G. D. (2009). Field study on milk production and mastitis effect of the DeLaval Swinging Cow Brush. DeLaval Swinging Cow Brush Study Final Report. DeLaval, Tumba, Sweden.
- Tamioso, P. R., Maiolino Molento, C. F., Boivin, X., Chandèze, H., Andanson, S., Delval, É., Hazard, D., da Silva, G. P., Taconeli, C. A., & Boissy, A. (2018). Inducing positive emotions: Behavioural and cardiac responses to human and brushing in ewes selected for



- high vs low social reactivity. *Applied Animal Behaviour Science*, 208, 56–65.
<https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2018.08.001>
- Tallet, C., Veissier, I., & Boivin, X. (2005). Human contact and feeding as rewards for the lamb's affinity to their stockperson. *Applied Animal Behaviour Science*, 94(1–2), 59–73.
<https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2005.02.007>
- Tallet, C., Sy, K., Prunier, A., Nowak, R., Boissy, A., & Boivin, X. (2014). Behavioural and physiological reactions of piglets to gentle tactile interactions vary according to their previous experience with humans. *Livestock Science*, 167(1), 331–341.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.025>
- Tosi, M.V., & Hemsworth, P.H. (2002). Stockperson–husbandry interactions and animal welfare in the extensive livestock industries. In: 36th Congress of the International Society for Applied Ethology. Proceedings..., Wageningen, The Netherlands, p. 129 (abstract). Disponível em: https://www.applied-ethology.org/iqs/dlrp.2/ISAE_Meetings.html (acesso 11 de fevereiro de 2024).
- Ujita, A., El Faro, L., Vicentini, R. R., Lima, M. L. P., de Oliveira Fernandes, L., Oliveira, A. P., Veroneze, R., & Negrão, J. A. (2021). Effect of positive tactile stimulation and prepartum milking routine training on behavior, cortisol and oxytocin in milking, milk composition, and milk yield in Gyr cows in early lactation. *Applied Animal Behaviour Science*, 234, 105205. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105205>
- Uvnäs-Moberg, K., & Petersson, M. (2005). Oxytocin, ein Vermittler von Antistress, Wohlbefinden, sozialer Interaktion, Wachstum und Heilung. *Zeitschrift Für Psychosomatische Medizin Und Psychotherapie*, 51(1), 57–80.
<http://www.jstor.org/stable/23870029>
- Vasconcelos, P. C., Lima-Montelli, N. L. L., de Almeida, D. H. S., Dallantonia, E. E., de Almeida, A. K., Reis, R. A., & Paranhos da Costa, M. J. R. (2018). Inverse confinement changes the temperament of Nellore steers. In: Paranhos da Costa, M. J. R, Ribeiro, A. R. B., Perez, C., Tonin, F., & Lima, M. L. P. (Orgs) Workshop Temple Grandin de Bem-estar Animal, Anais... Suplemento de: Atas de Saúde Ambiental, Abstract, p. 54-55. Disponível em: <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/issue/view/153> (acesso em 11 de fevereiro de 2024).
- Verwer, C. M., van Amerongen, G., van den Bos, R., & Hendriksen, C. F. M. (2009). Handling effects on body weight and behaviour of group-housed male rabbits in a laboratory setting. *Applied Animal Behaviour Science*, 117(1–2), 93–102.
<https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2008.12.004>
- Waiblinger, S., Menke, C., & Coleman, G. (2002). The relationship between attitudes, personal characteristics and behaviour of stockpeople and subsequent behaviour and production of dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science*, 79(3), 195–219.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00155-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00155-7)



- Waiblinger, S., Menke, C., Korff, J., & Bucher, A. (2004). Previous handling and gentle interactions affect behaviour and heart rate of dairy cows during a veterinary procedure. *Applied Animal Behaviour Science*, 85, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.07.002>
- Waiblinger, S., Boivin, X., Pedersen, V., Tosi, M. V., Janczak, A. M., Visser, E. K., & Jones, R. B. (2006). Assessing the human-animal relationship in farmed species: A critical review. In *Applied Animal Behaviour Science* 101(3–4), 185–242. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.02.001>
- Waiblinger S. (2019) Agricultural animals. In: Geoff, H., & Vicky, M. (Eds.), *Anthrozoology Human-Animal Interaction in Domesticated and Wild Animals*, p. 32–58. Oxford University Press: Oxford, UK.



EFECTO DE CUATRO FERTILIZANTES FOLIARES, PARA DETERMINAR LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRITIVA DEL PASTO *Brachiaria brizantha* cv. PAIAGUÁS

EFFECT OF FOUR FOLIAR FERTILIZERS TO DETERMINE THE PRODUCTION AND NUTRITIVE QUALITY OF PASTURE *Brachiaria brizantha* cv. PAIAGUÁS

*Polo, Edgar. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
epolo61@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1246-2355>

Urieta, Sebastián. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
suv208@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0001-8949-5414>

Moreno, Yaliska. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
yaliska.moreno@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-6643-7713>

*Autor de Correspondencia: epolo61@hotmail.com

Recibido: 11/01/2024

Aceptado: 05/03/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5170>

RESUMEN. En un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones se evaluó el efecto que tiene el uso de cuatro tipos de fertilizantes foliares (12-8-16+3, 16-32-16, 20-20-20 y la urea) en época seca sobre la calidad nutricional y rendimiento del pasto *Brachiaria brizantha* cv Paiaguás. Se realizaron cuatro cortes con intervalos de 30 días. Hubo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre la altura de las plantas durante el periodo estudiado como también en los diferentes tratamientos foliares que se aplicaron en el trabajo. La altura de las plantas fue decreciendo a medida que avanzaba la época seca. La mayor respuesta a fertilización foliar se reflejó en los tratamientos 16-32-16, Urea, Testigo y 12-8-16+3 con alturas de plantas promedio de 39.29, 38.52 y 38.38 y 37.90 centímetros respectivamente. La cobertura en los cortes a medida que avanzaba el verano fue decreciendo, obteniéndose el mayor porcentaje con el tratamiento foliar Urea. El análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca indicó que no existió diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los fertilizantes foliares estudiados. Sin embargo, si se presentaron diferencias significativas entre los cortes realizados en el estudio ($P < 0.05$). La proteína cruda fue decreciendo, a lo largo de los cortes realizados. El tratamiento foliar a base de urea fue el que mayor contenido de proteína cruda (8.82%) mostro en la investigación. Los contenidos de Fibra cruda que se obtuvieron en los fertilizantes foliares son considerados como porcentajes regulares. Los fertilizantes foliares presentaron niveles bajos en cuanto a porcentajes de calcio con porcentajes entre 0.21 a 0.23%.

PALABRAS CLAVE: fertilizantes foliares, producción, calidad nutritiva, *Brachiaria brizantha*, Paiaguás.

ABSTRACT. In a randomized complete block design with three replications, the effect of using four types of foliar fertilizers (12-8-16+3, 16-32-16, 20-20-20 and urea) on dry season on the nutritional quality and yield of *Brachiaria brizantha* cv Paiaguás grass. Four cuts were made with intervals of 30 days. There was a significant effect ($P < 0.05$) on the height of the plants during the period studied as well as on the different foliar treatments that were applied in the work. The height of the plants decreased as the dry season (summer) progressed. The greatest response to foliar fertilization was reflected in the 16-32-16, Urea, Witness and 12-8-16+3 treatments with average plant heights of 39.29, 38.52 and 38.38 and 37.90 centimeters, respectively. The coverage in the cuts decreased as the summer progressed, obtaining the highest percentage with the Urea foliar treatment. The analysis of variance for the dry matter yield variable indicated that there were no significant differences ($P > 0.05$) between the foliar fertilizers studied. However, there were significant differences between the cuts made in the study ($P < 0.05$). Crude protein decreased throughout the cuts made. The urea-based foliar treatment was the one with the highest crude protein content (8.82%) in the investigation. The crude fiber contents obtained in foliar fertilizers are considered as regular percentages. Foliar fertilizers presented low levels in terms of calcium percentages with percentages between 0.21 to 0.23%.

KEYWORDS: foliar fertilizers, production, nutritional quality, *Brachiaria brizantha*, Paiaguás



INTRODUCCIÓN

Uno de los retos de los investigadores de forrajes tropicales es la búsqueda de especies de alta calidad nutritiva (Canchila *et al.* 2008) con características agronómicas sobresalientes que respondan a la diversidad del paisaje ganadero representado por climas y suelos diferentes, que sean resistentes a plagas y enfermedades comunes en los pastos, y que causan pérdidas en los mismos. Para el trópico las especies más utilizadas son del género *Brachiaria* poseen potencial adaptativo y productivo para diversas condiciones, entre estas se destacan las accesiones de las especies *B. decumbens*, *B. brizantha*, *B. dictyoneura* y *B. ruziziensis*.

Estas especies crecen y se desarrollan en una amplia gama de ecosistemas ganaderos, se adaptan a condiciones de suelos de baja fertilidad y son capaces de tolerar el encharcamiento y la acidez. Son especies que poseen un rendimiento de biomasa comestible aceptable, que puede variar con relación a las condiciones de manejo a que se sometan las plantas. Se están realizando muchos estudios en los cuales se creó un nuevo pasto de la especie *Brachiaria brizantha* cv. BRS *Paiaguás*, el cual asegura ser muy prometedor, ofreciendo: productividad, vigor, la producción de semillas; alto potencial para la producción de ganado en la estación seca, con alto contenido de hojas y de buen valor nutricional. En la actualidad en Panamá, solo se han encontrados algunos estudios recientes que se han realizado en EMBRAPA, Brasil del pasto *Brachiaria brizantha* cv BRS *Paiaguás*.

En Panamá los suelos destinados al cultivo de pastos en su mayoría son de baja fertilidad que conjuntamente, con el clima ejercen efectos negativos en la productividad, calidad y persistencia de las especies de pastos. La fertilización de los pastos es una de las prácticas agronómicas más importantes y algunos trabajos recientes muestran que la fertilización representa aproximadamente el 19% de los costos de producción de una res durante su período de lactancia (Saavedra, 2015). Por lo general la fertilización de potreros en etapa de establecimiento, se enfoca en la aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P), dicha práctica puede no resultar adecuada ya que parte del fertilizante puede perderse o fijarse en el suelo. Es por ello por lo que una de las técnicas difundidas en donde más se aprovecha la práctica de fertilización y que está alcanzando gran auge en muchos países en la nutrición de cultivos es: la " fertilización foliar".

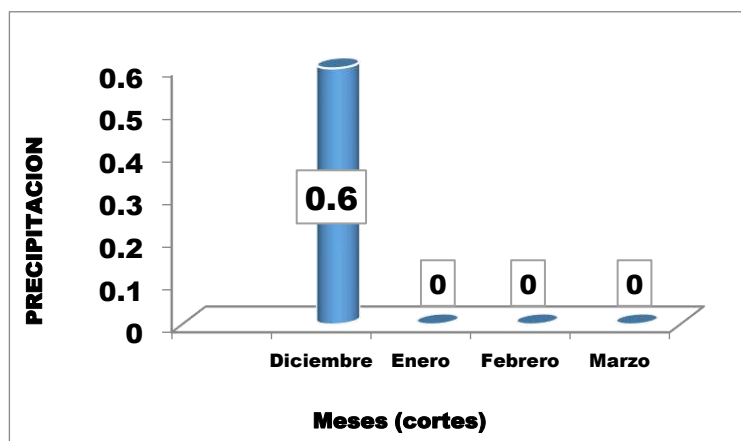
La fertilización foliar es una aproximación "by-pass" que complementa a las aplicaciones convencionales de fertilizantes edáficas, cuando éstas no se desarrollan suficientemente bien. La fertilización foliar es el principio de aplicación de nutrientes por medio del tejido foliar, principalmente a través de las hojas, que son los órganos donde se concentra la mayor actividad fisiológica de la planta. Ha sido bien demostrado el excelente resultado que se logra cuando se aplican nutrientes vía foliar en la época y cantidad adecuada. Según Melgar, (2005). Los abonos foliares son líquidos que aportan nutrientes a las plantas, además de aumentar la población de microorganismos en el suelo y en la planta misma. La falta de mejores alternativas en la elección de abonos para las pasturas ha dado como resultado que las inversiones realizadas por los productores se pierdan rápidamente. Es por ello por lo que, en esta investigación, buscara innovar la utilización de fertilizantes foliares que comúnmente se aprovechan en cultivos como frutales, flores y hortalizas, pero esta vez en pasturas, específicamente en la *Brachiaria brizantha* cv. *Paiaguás*, determinando la adaptabilidad, potencial de rendimiento en campo y contenido nutricional del mismo en época seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo experimental se realizó en terrenos del IPT México-Panamá, ubicado en Tanara, distrito de Chepo, Provincia de Panamá. La ubicación geográfica corresponde a los 09°08' Latitud Norte y 79°12' Longitud Oeste. La pluviosidad anual promedio de la región es de 2180,9 mm anuales. Las parcelas presentaron un suelo con textura franco arcilla arenosa, con un porcentaje de arena de 45%, 21% de limo y 34% de arcilla, con un porcentaje de materia orgánica de 1,44%, con un pH medido en agua de 5,51; datos proporcionados por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Dándose singular importancia en la eficiencia del uso del fertilizante; se presentan en la Figura 1 los datos de precipitación en los días del estudio.

Figura 1

Tabla de precipitaciones registradas en los meses (cortes) del estudio. Tanara, Chepo.



Fuente: Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). 2022.

Preparación del terreno: La preparación del terreno consistió primero en una limpieza manual del terreno, en la que luego se realizó dos pases de rastra alternos cada 15 días, utilizando un monocultivo.

Siembra: La siembra se realizó con semilla gámica, utilizando 6.0 kilogramo por hectárea (Kg/ha), a chorro continuo a una distancia de 0.50 cm. entre hileras.

Cortes: A los cuatro meses de sembrado el ensayo se procedió a realizar a finales del mes de noviembre el corte de nivelación con el objetivo de que todas las parcelas tuvieran una misma altura. Se realizaron cuatro cortes, con un periodo de 30 días entre cada corte los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, a una altura de 20 cm sobre el suelo.

Diseño experimental y tratamientos: El ensayo experimental se llevó a cabo mediante un Diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los cinco tratamientos consistieron en los siguientes fertilizantes foliares: T0= testigo, T1= Urea, T2=12-8-16+3, T3=16-32-16 y T4=20-20-20. Estas dosis son las que los fabricantes de fertilizantes utilizan para las plantas ornamentales. Experiencia de estas en el uso de forrajes se desconoce. Las unidades experimentales tenían tamaño de 3.0 x 3.0m= 9.0 m² con el pasto *Brachiaria brizantha* cv. *Paiguás*. La aplicación de los fertilizantes se realizó una semana después de



cada corte de nivelación, de forma líquida con el empleo de una bomba de mochila, con el cuidado de esparcir el fertilizante uniformemente sobre la parcela. En la Tabla 1 se muestran la dosificación de cada fertilizante aplicado.

Tabla 1

Dosificación de los abonos foliares.

Tratamientos	Dosificación	Agua	Kg/ha	lt. de Agua/ ha
12-8-16+3	2.00 gr/9.00 m ²	340 ml/9.00m ²	2.22 Kg/ha	377.78 lt/ha
16-32-16	2.00 gr/9.00 m ²	340 ml/9.00m ²	2.22 Kg/ha	377.78 lt/ha
20-20-20	2.00 gr/9.00 m ²	340 ml/9.00m ²	2.22 Kg/ha	377.78 lt/ha
Urea	2.00 gr/9.00 m ²	340 ml/9.00m ²	2.22 Kg/ha	377.78 lt/ha

Los datos colectados en campo se ordenaron en hojas Excel, las que posteriormente fueron analizadas en el programa estadístico Statistical Analysis System versión 9.1 (SAS®). (Statistic Analysis System). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA), posteriormente los resultados se estructuraron en cuadros y gráficos.

VARIABLES ESTUDIADAS: Los parámetros evaluados en esta investigación fueron: altura de la planta (cm), cobertura (%), rendimiento de materia seca (kg/ha), contenido de materia seca (%), proteína cruda (%), fibra cruda (%) y ceniza (%). Todas estas variables se evaluaron de acuerdo con las dosis estudiadas y los cortes realizados en el período de estudio.

RESULTADOS

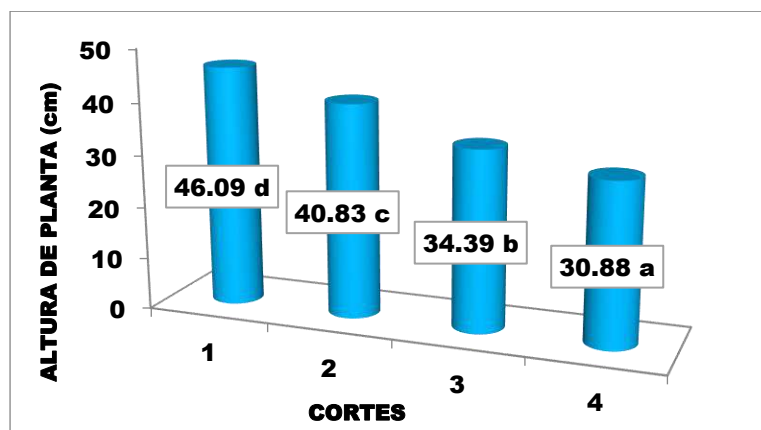
A. Altura de las plantas (cm)

El efecto de la fertilización foliar sobre los cortes en el pasto Paiaguás, indican que hubo efecto significativo ($P < 0.05$) sobre la altura de las plantas durante el periodo estudiado, como también en los diferentes tratamientos foliares que se aplicaron en el trabajo. La altura de las plantas fue decreciendo a medida que avanzaba la época seca. El primer corte presentó la mayor altura con 46.09 centímetros, seguidos del segundo y tercer corte con 40.83 y 34.39 centímetros respectivamente. La menor altura de plantas se observó en el cuarto corte del estudio con 30.88 centímetros (Figura 2). La lentitud con que se regenera una pastura se debe generalmente a la ausencia de macollas vegetativas vigorosas, ya que su rebrote depende fundamentalmente de los puntos de crecimiento durmientes, los cuales son incapaces de desarrollarse bajo el ambiente desfavorable que les imponen las condiciones de sequía a través de temperaturas elevadas, niveles decrecientes de humedad e intensidades altas de luz (Carambula, 1977).



Figura 2

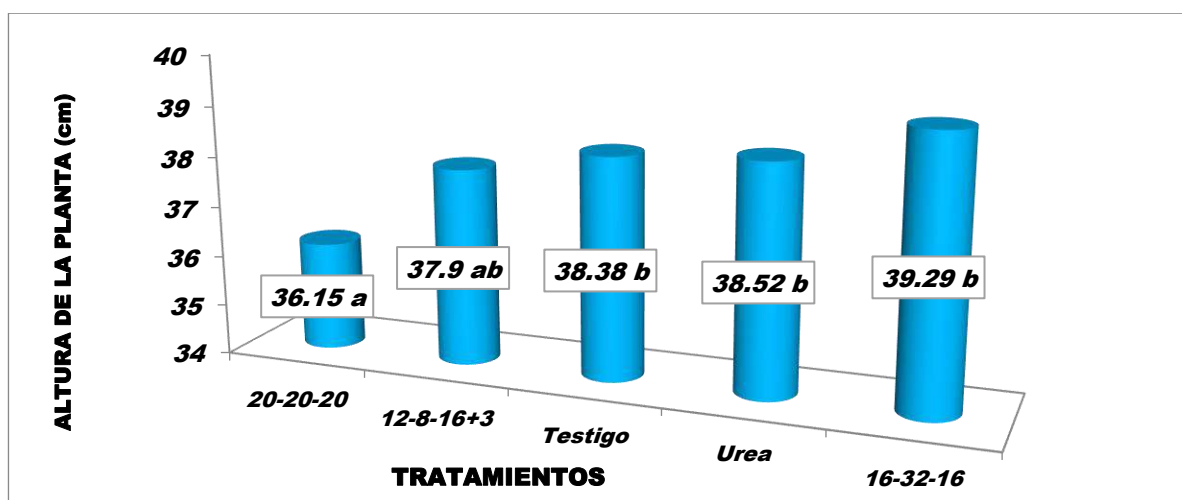
Efecto del corte sobre la altura de planta (cm) en la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto Brachiaria brizantha cv. Paiaguás.



La mayor respuesta en cuanto a crecimiento de la planta a la aplicación de fertilizantes foliares se reflejó en los tratamientos 16-32-16, Urea, Testigo y 12-8-16+3 con alturas de plantas promedio de 39.29, 38.52 y 38.38 y 37.90 centímetros respectivamente. La menor altura de plantas y difiriendo significativamente ($P < 0.05$) de los otros tratamientos fue con el tratamiento 20-20-20 con 36.15 centímetros (Figura 3). Tomando como referencia que los pastos con habito de crecimiento semi erecto o decumbentes similares al pasto Paiaguás tienen crecimiento promedio en época lluviosa entre 0.80 a 1.10; las alturas observadas y descritas al aplicar abonos foliares pueden ser considerados como referentes para dicho pasto en época seca.

Figura 3

Efecto de la aplicación de fertilizantes foliares sobre la altura de planta (cm) en el pasto Brachiaria brizantha cv. Paiaguás.

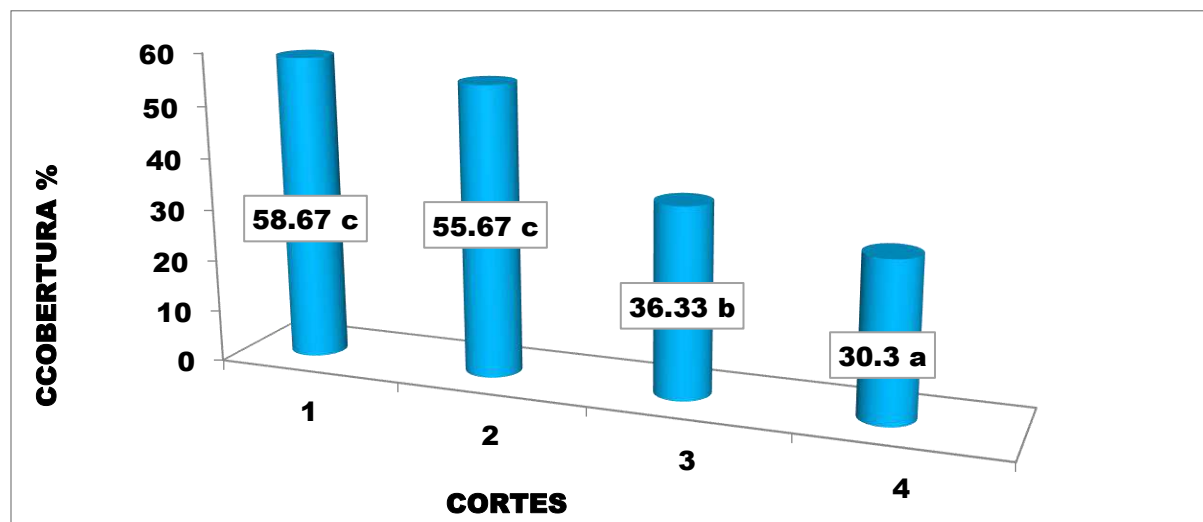


B. Cobertura (%)

El análisis de varianza para la variable cobertura (%) indicó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los cortes y los fertilizantes foliares evaluados. La cobertura de las pasturas, de la planta al suelo tiene relación directa con el crecimiento de las pasturas, puesto que las plantas necesitan de hojas para la realización de la fotosíntesis (Machado, 1999). El mayor porcentaje de cobertura se presentó al realizar el primer y segundo corte del experimento con 58.67 y 55.67 %, disminuyendo al realizar el tercero y cuarto corte significativamente ($P < 0.05$) con porcentajes por el rango de 36.33 y 30.30 por ciento respectivamente (Figura 4). El área foliar remanente tiene mayor importancia en períodos críticos como los del verano. En esta época no solo ocurren déficits en los niveles de humedad del suelo, sino que normalmente estos son acompañados por altas temperaturas. Colbis y Drake citados por Carambula, 1977, demostraron que el *Dactylis*, cuando las temperaturas ambientales alcanzan 40 grados centígrados, la fotosíntesis alcanza sólo la mitad de su actividad. En este caso la fotosíntesis y la respiración están balanceadas; pero cuando ocurren temperaturas más altas, las cantidades de sustancias de reserva disminuyen debido al gasto que le ocasiona una excesiva respiración.

Figura 4

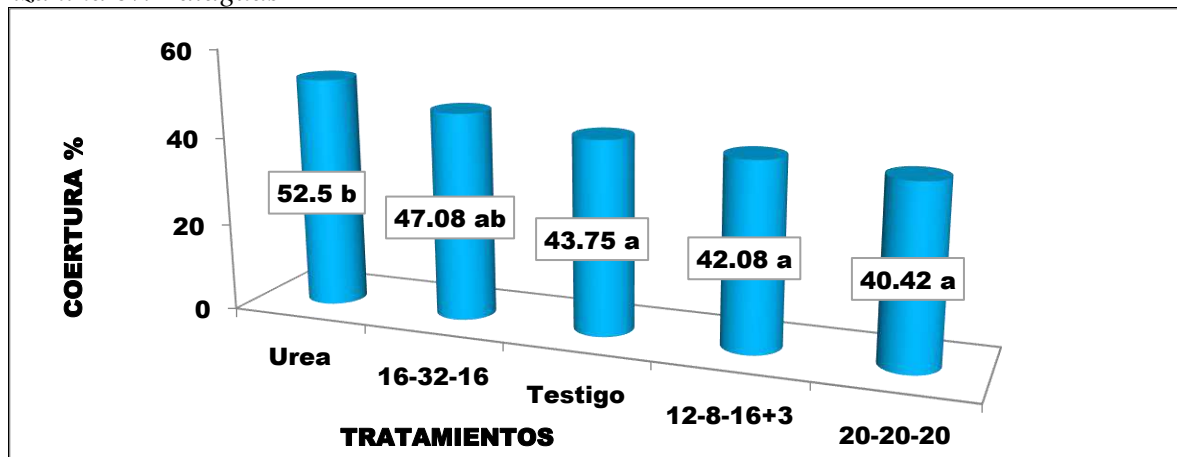
Efecto del corte sobre la cobertura (cm) en la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás.



En la Figura 5 se observa que el tratamiento foliar con urea tuvo el mayor porcentaje en términos de cobertura al suelo (52.50%) sin diferir del tratamiento 16-32-16 (47.08%). Este tratamiento a su vez no mostró diferencias significativas ($P > 0.05$) con el resto de los estudiados con porcentajes de 43.75% (Testigo), 42.08 % (12-8-16+3) y 40.42% (20-20-20).

Figura 5

Efecto de la aplicación de fertilizantes foliares sobre la cobertura (%) en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás

**C. Rendimiento de materia seca (Kg/ha)**

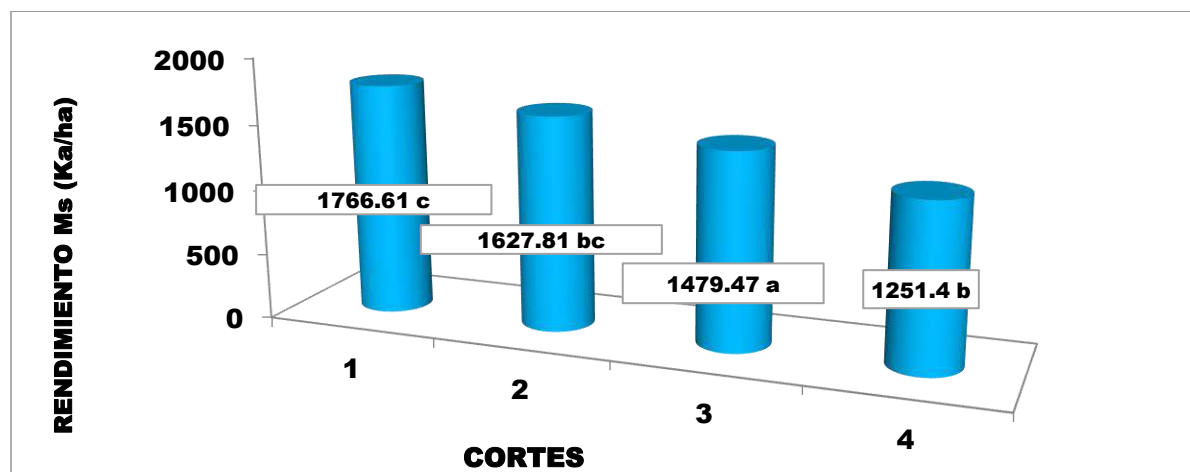
El análisis de varianza para la variable rendimiento de materia seca indicó que no existió diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los fertilizantes foliares estudiados. Sin embargo, si se presentaron diferencias significativas entre los cortes realizados en el estudio ($P < 0.05$). Los rendimientos de materia seca de los cortes tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ellos (Figura 6), presentándose el mayor rendimiento en el primer corte (1766.61 kg/ha), sin diferir del segundo corte (1627.81 kg/ha). El tercer corte mantuvo una producción similar al segundo (1479.97 kg/ha). El cuarto corte fue el menos productivo con rendimiento promedio de 1251.40 kg/ha. En Atenas, Costa Rica realizando cortes cada 8 semanas (dos meses) en época seca, se encontró que los pastos cv. Mulato II y cv. Mulato I con el mismo hábito de crecimiento que el pasto Paiaguás produjeron menos forraje con 970 y 750 kilogramos por hectáreas (Argel y col. 2007). Al realizar cortes cada 30 días en el pasto Paiaguás se evidenció que, en la época seca a partir de cuarto mes de corte, se va reduciendo el rendimiento de forraje, lo que nos indica que haciendo un aumento en los días de corte el pasto podría incrementar su productividad con la utilización de los abonos foliares.

Según Wilkins (1970), si aumenta el intervalo de días de cortes, el rendimiento de materia seca es mayor, debido a que la planta presenta menos cantidad de agua en sus tejidos y esta alcanza una mayor lignificación. El rendimiento de materia seca (MS) de una pradera aumenta con la edad del rebrote y menor intensidad de cortes. Otro factor que pudo haber influido en la reducción de producción de forraje en los intervalos de corte y sobre todo en un periodo prolongado de sequía fue el agotamiento de las reservas orgánicas que son el mecanismo que poseen las plantas forrajeras para activar el rebrote, asegurar su persistencia y mantener su producción; las cuales están constituidas, principalmente, por carbohidratos y compuestos nitrogenados. Las reservas son usadas para el mantenimiento de la planta y para la producción de biomasa aérea y subterránea en períodos de estrés e incluyen azúcares reductores (glucosa, fructosa) azúcares no reductores (sucrosa), fructosano y almidones (Holmes, 1982).



Figura 6

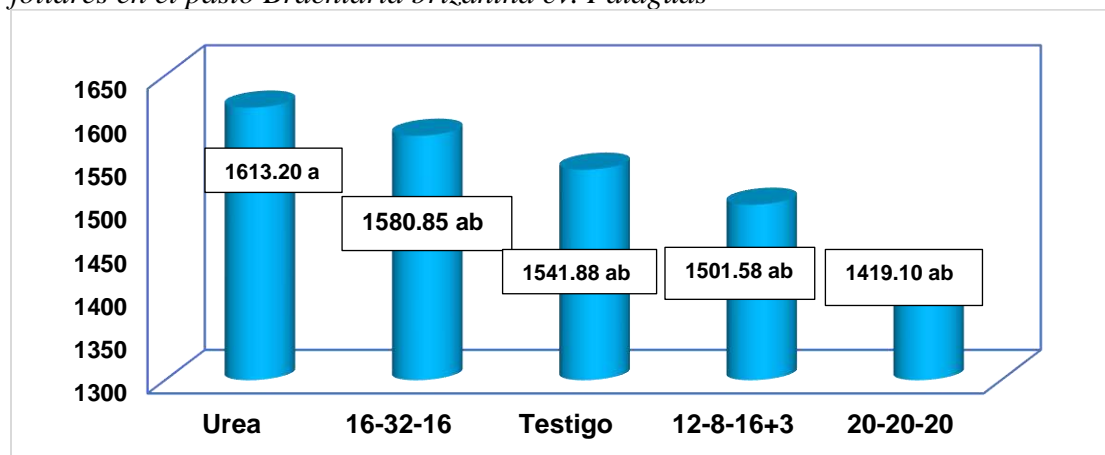
Respuesta en el rendimiento de materia seca por hectárea a los cortes con la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiguás.



En cuanto al efecto de los fertilizantes foliares sobre el rendimiento de materia seca se puede indicar que su respuesta en cuanto a producción fue por el rango de 1613.20, 1580.85, 1541.88, 1501.58 y 1419.10 kg/ha para los tratamientos: Urea, 16-32-16, 12-8-16+3, Testigo y 20-20-20 respectivamente (Figura 7). Cabe señalar que estas respuestas de rendimiento de materia seca según la Guía para estimar el Rendimiento Mensual y Producción de Forrajes (Morales y Lobo, 1998), se le considera en periodos lluviosos entre baja y regular demostrando de esa forma que no utilizan fertilizantes ni incorporan en las praderas pastos mejorados. Lo que nos indica con este trabajo que al utilizar la alternativa de fertilización foliar en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiguás en época seca (verano) se mantiene la disponibilidad de forrajes y no como ocurre comúnmente cuando las pasturas, generalmente, de los géneros *Brachiaria* que se maduran rápidamente y no tienen la capacidad de rebrote y ni siquiera obtienen un rendimiento considerado como aceptable.

Figura 7

Respuesta en el rendimiento de materia seca por hectárea a la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiguás



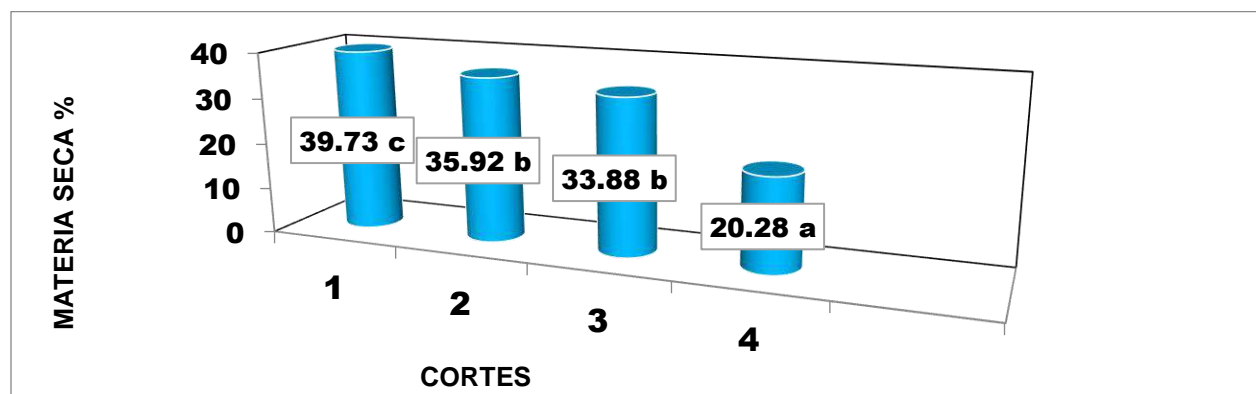


D. Contenido de materia seca (%)

El análisis de varianza para la variable materia seca (%) presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto a los cortes realizados, sin embargo, entre los tratamientos de fertilizantes foliares no existió diferencias significativas ($P > 0.05$) entre ellos. La materia seca en el primer corte realizado fue la que mayor porcentaje presentó con 39.73%; presentándose diferencias significativas ($P < 0.05$) con el segundo, tercer y cuarto corte con los siguientes porcentajes: 35.92%, 33.98% y 20.28% (Figura 8).

Figura 8

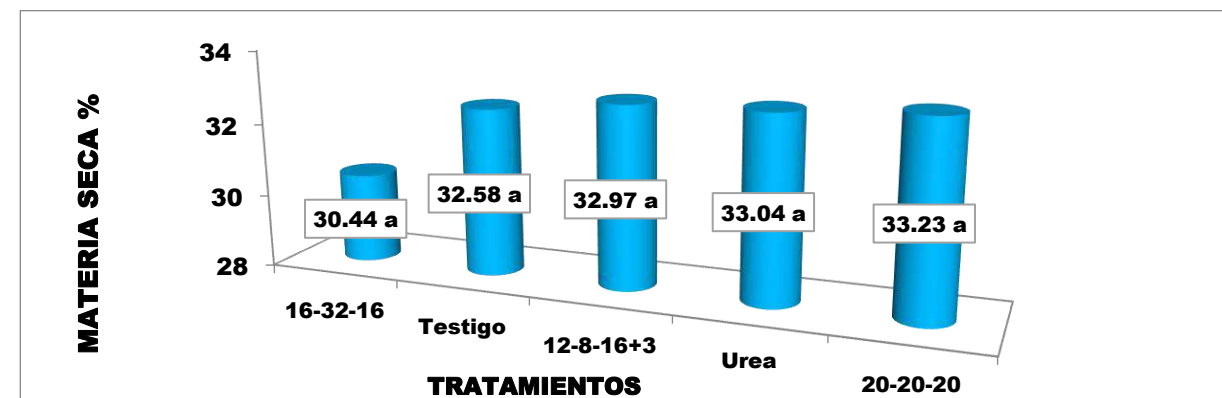
Efecto del corte sobre la materia seca (%) en la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto Brachiaria brizantha cv. Paiaguás



La materia seca entre los fertilizantes foliares no tuvo diferencias significativas entre ellos presentándose los siguientes resultados: 30.44% para el tratamiento 16-32-16, 32.58% para el tratamiento Testigo, 32.97% para el tratamiento 12-8-16+3, 33.04% para el tratamiento con urea y 33.23% para el tratamiento 20-20-20 (Figura 9). El contenido de materia seca en forrajes verdes muy succulentos se convierte a menudo en una limitante ya que los niveles inferiores al 25% hacen difícil para el animal llenar sus requerimientos de materia seca digestible por día, puesto que se limita su capacidad de consumo para llenado ruminal antes de satisfacer sus necesidades de energía digestible.

Figura 9

Respuesta de la materia seca (%) a la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto Brachiaria brizantha cv. Paiaguás.

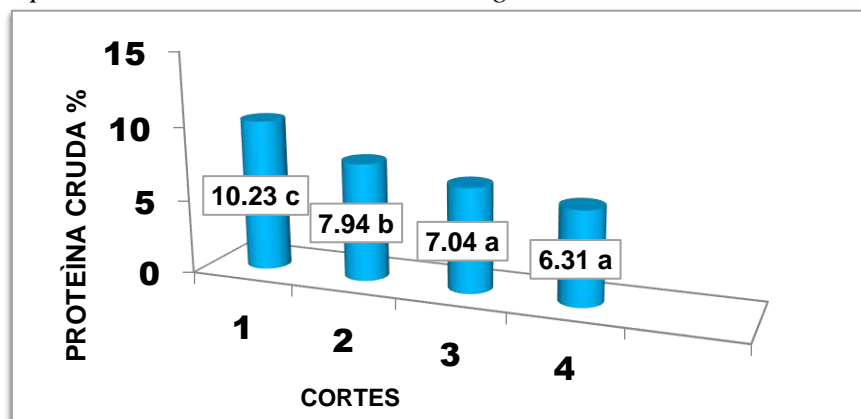


E. Proteína cruda (%)

El análisis de varianza para la variable proteína cruda detectó diferencias significativas ($P < 0.05$) en los períodos de corte y tratamientos foliares utilizados en la prueba. La proteína cruda fue decreciendo a lo largo de los cortes realizados. El mayor valor se presentó en el primer corte con 10.23 % difiriendo significativamente ($P < 0.05$) de los demás cortes realizados. En el segundo corte se obtuvo 7.94%. Los rendimientos más bajos se reflejaron en el tercer y cuarto corte con 7.04 y 6.31% (Fig. 10). Según la Clasificación del Valor Nutritivo de los Forrajes expresados en base seca de Fudge y Fraps (1944) estos valores obtenidos estarían considerados como regulares para una pastura del género gramínea en época lluviosa, lo que nos indica que después de cuatro meses con cero precipitaciones pluviales y bajo el efecto de las aplicaciones de fertilizantes foliares el pasto Paiaguás mantiene niveles de proteínas considerados como aceptables.

Figura 10

Respuesta del contenido de proteína cruda (%) a los cortes con la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás.

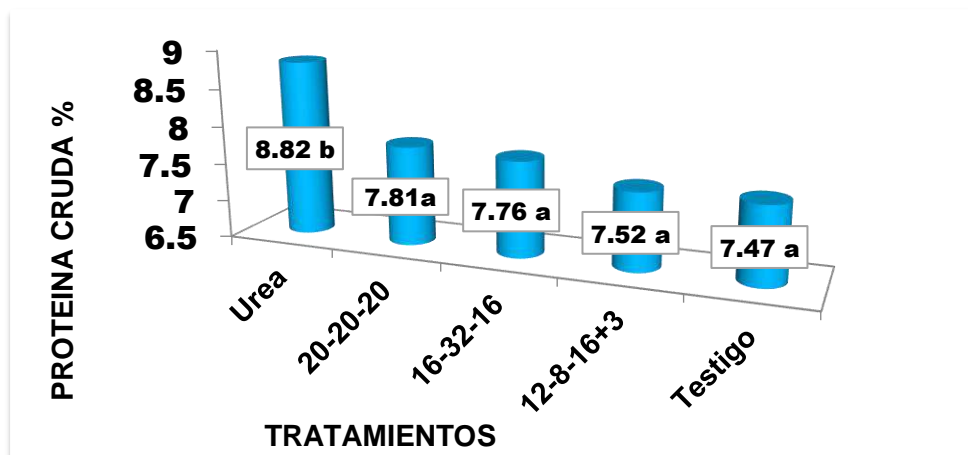


El tratamiento foliar a base de Urea fue el que mayor contenido de proteína cruda (8.82%) presentó en la investigación, a su vez tuvo diferencias significativas ($P < 0.05$) sobre los otros tratamientos de fertilizantes foliares. Sin embargo, no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los otros abonos foliares, obteniéndose porcentajes de proteína cruda de 7.81% para 20- 20-20, 7.76% para 16-32-16, 7.52% para 12-8-16+3 y 7.47% para el tratamiento testigo (Fig. 11). El tratamiento a base de Urea presentó mayores porcentajes de proteína cruda que los cvs. Toledo (7.40%), Mulato (7.50%) y Mulato II (7.40%) en época lluviosa en la Estación CIAT Quilichao en Santander de Quilichao, Colombia (CIAT, 2007). En este caso las pasturas fueron fertilizadas con 50 kilogramos por hectárea de nitrógeno antes del inicio de la temporada seca. En Brasil-Bahía la Empresa Semences Paso Ita en 2016, indicó que en *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatá en el periodo seco presentó contenidos de proteínas por el rango de 7.3%; contenido este casi similar al que se presentaron en todos los tratamientos foliares que fueron investigados.



Figura 11

Respuesta del contenido de proteína cruda (%) a la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás.

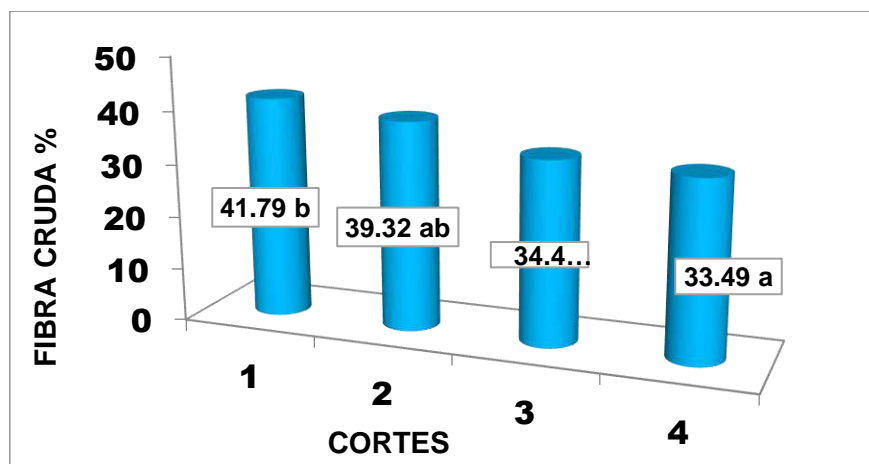


F. Fibra cruda (%)

El análisis de varianza para la Fibra cruda presento diferencias significativas ($P < 0.05$) en los cortes realizados durante el período del estudio, pero no se observó diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto a los tratamientos foliares. Según la Clasificación del valor nutritivo de los forrajes expresados en base seca de Fudge y Fraps (1944), el contenido de fibra cruda del primer corte a los treinta días es considerado como deficiente (41.79%); en el segundo (39.32%) y tercer corte (34.44%), como regular y en el cuarto corte con 33.49% bueno (Fig. 12).

Figura 12

Respuesta del contenido de fibra cruda (%) a los cortes con la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás.



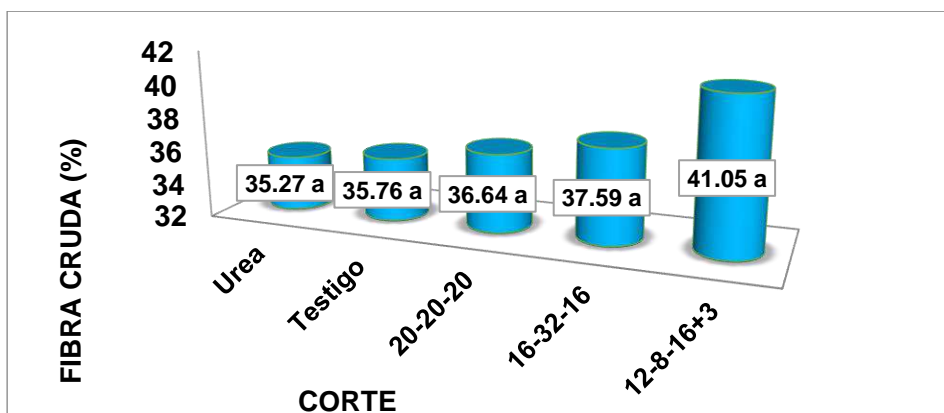
Los contenidos de Fibra cruda que se obtuvieron en los fertilizantes foliares Urea (35.27%),



Testigo (35.76%), 20-20-20 (36.64%), 16-32-16 (37.59%) según la Clasificación del valor nutritivo de los forrajes expresados en base seca de Fudge y Fraps (1944), son considerados como porcentajes regulares y del tratamiento 12-8-16+3 se le ubica como dentro del rango de los porcentajes de deficiente (Fig. 13).

Figura 13

Respuesta del contenido de fibra cruda (%) a la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. *Paiguás*.

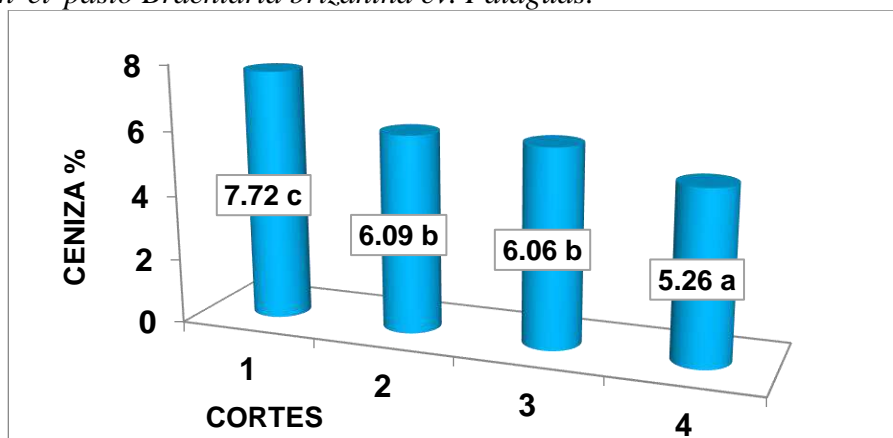


G. Ceniza (%)

Cenizas es una medida del total de minerales presentes en un alimento. El contenido de cenizas de forrajes o pasto es importante, ya que, es una variable que puede ser utilizada para ayudar a balancear las sales mineralizadas a escala de fincas. El análisis de varianza para la variable ceniza mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en los cortes realizados y en los tratamientos foliares que se evaluaron. El mayor contenido de ceniza para los cortes se presentó en el primer corte con 7.72% difiriendo significativamente ($P < 0.05$) del segundo y tercer corte con 6.09 y 6.06% así como del cuarto corte con el porcentaje más bajo presentado con 5.26% (Figura 14).

Figura 14

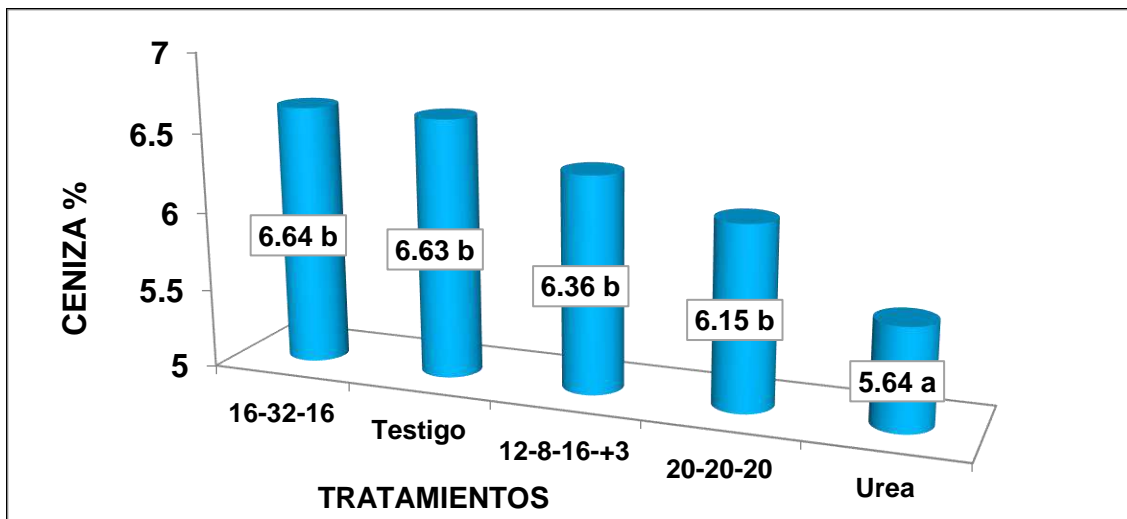
Respuesta del contenido de ceniza (%) a los cortes con la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. *Paiguás*.



En los fertilizantes foliares los tratamientos 16-32-16 (6.64%), Testigo (6.63%), 12-8-16+3 (6.36%) y 20-20-20 (6.15%) difirieron significativamente, ($P < 0.05$) del abono foliar Urea (5.64%) (Figura 15).

Figura 15

Respuesta del contenido de ceniza (%) a la aplicación de fertilizantes foliares en el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás.



CONCLUSIONES

En el área donde se efectuó esta investigación con una época seca muy intensa el pasto *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás mostró excelente capacidad de rebrote de acuerdo con los resultados de cobertura y altura de las plantas.

La altura de las plantas fue decreciendo a medida que avanzaba la época seca. En cuanto a la aplicación de fertilizantes foliares la mayor respuesta de la planta se reflejó en los tratamientos 16-32-16, Urea, Testigo y 12-8-16+3.

La cobertura en los cortes a medida que avanzaba la época seca fue decreciendo, obteniéndose el mayor porcentaje con el tratamiento foliar Urea.

El contenido de materia seca entre los fertilizantes foliares no tuvo diferencias significativas entre ellos presentándose porcentajes superiores al 25%, lo que permite a el animal llenar sus requerimientos de materia seca digestible por día.

El rendimiento de materia seca durante los cortes fue disminuyendo a medida que avanzaba el período seco y en los fertilizantes foliares la producción no difirió manteniéndose en todos los tratamientos niveles de rendimiento por encima de los 1,400 kilogramos por hectáreas.

La proteína cruda fue decreciendo a lo largo de los cortes realizados. El tratamiento foliar a base



de Urea fue el que mayor contenido de proteína cruda (8.82%) presentó en la investigación.

Los contenidos de Fibra cruda que se obtuvieron en los fertilizantes foliares Urea (35.27%), Testigo (35.76%), 20-20-20 (36.64%), 16-32-16 (37.59%) son considerados como porcentajes medios de lignina.

Los contenidos de ceniza fueron disminuyendo con los cortes cada 30 días. En los fertilizantes foliares el tratamiento:16-32-16 (6.64%), Testigo (6.63%), 12-8-16+3 (6.36%) y 20-20-20 (6.15%), fueron los que mejor respuesta presentaron en contenidos de ceniza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argel, P., Miles, J., Juiot, J., Cuadrado, H. y Lascano, C. (2007). Gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente a salivazo y adaptada a suelos tropicales ácidos bien drenados. Cultivar Mulato II (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087). Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Grupo Papalotla. 22 p.
- Canchila E.R., Ojeda F., Machado R., Soca M, Toral O. y Blanco. D. (2008). *Evaluación agronómica de accesiones de Brachiaria spp. en condiciones agroecológicas de Barrancabermeja, Santander, Colombia. II. Segundo año de evaluación. Pastos y Forrajes v.31 n.2 Matanzas, Cuba.* http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942008000200004&script=sci_abstract
- Carambula, M. (1977). Producción y manejo de pasturas sembradas. Editorial agropecuario Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 464 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). (2007). Annual Report 2006. Project IP. 5. Tropical Grasses and Legumes: Optimizing genetic diversity for multipurpose use.
- Fudge, J. F. & Fraps, G. S. (1944). The chemical compositions of forage grasses from the Gulf Coast prairie as related to soil and to requirement forage cattle. Texas Agr. Exp. Sta Bull 644, collage station Texas. E.U.A. 1998.
- Holmes, W. 1982. Grazing management. P. 125-174. In: w. Holmes. (ed.) Grass: Its production and utilization. British Grassland Society, Great Britain. pp.459
- Liberato, R., Lima do Souza, A., Segatto, C., Silva, D. R. G., dos Santos, J. N. y Bonelli, E. A. (2009). Características Agronômicas da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetidas doses de Nitrogênio. Águas de Lindóia/SP-FZEA/USP-ABZ. Pág. 2-3.
- Machado, L.A. (1999). Manejo de Pastagem Nativa. Editora Agropecuária Ltda., Guaíba-RS-Brasil. 158 p.
- Melgar, R. (2005). Fertilización Foliar. Otra exitosa forma de nutrir a las plantas.Red agrícola.



Morales, J. y Lobo M. (1998). *Aspectos básicos de manejo y utilización de potreros para la producción eficiente y sostenible*. San José, Costa Rica.

Saavedra, R. (2015). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción forrajera y bromatología del pasto *Brachiaria brizantha* cv. Piatá. Tesis Ing. Agro. Zootecnista.

Sementes Paso ITA. 2016. *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatá. Brasil-Bahía. <https://www.pasoita.com.br/es/>

Wilkins, R. J. (1970). Conservación de forraje. Traducción por Pedro Ducar Maluenda. Zaragoza, España. Editorial Acriba. pp.196.



EVALUACIÓN LINEAL EN CABRAS LECHERAS (*Capra hircus*) Y EL USO DE ANÁLISIS MULTIVARIADOS PARA LA SELECCIÓN FENOTÍPICA

LINEAR EVALUATION IN DAIRY GOATS (*Capra hircus*) AND THE USE OF MULTIVARIATE ANALYSIS FOR PHENOTYPIC SELECTION

*Cedeño, Héctor. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
hector.cedenov@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8400-4276>

Reyes, Edwin. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
edwin.reyes@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-7379-5797>

Saavedra, Roberto. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario, Panamá.
roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4531-6434>

Pile, Edwin. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
edwin.pilem@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-6226-1500>

Mudarra, Richard. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
richard.mudarra@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>

Guerra, Reggie. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
reggie.guerra@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8471-2862>

Pimentel, Tamara. Investigador Independiente, Panamá.
tamaraan26@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

Grajales, Joseph. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
joseph.grajales@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-1021-3945>

*Autor de Correspondencia: hector.cedenov@up.ac.pa

Recibido: 12/02/2024

Aceptado: 13/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5171>

RESUMEN. El objetivo del presente estudio fue evaluar la selección fenotípica de cabras lecheras Saanen y Parda Alpina utilizando la calificación lineal en las características morfológicas, lineales y la habilidad lechera. Se utilizaron 20 cabras adultas entre 2 a 6 años, 10 animales Saanen y 10 Parda Alpina. La evaluación lineal se realizó a los 45 días postparto. En este estudio se evaluaron 27 variables, tres morfológicas, dos productivas y 22 lineales procedentes de cuatro regiones corporales, las cuales fueron divididas en la apariencia general y capacidad (25 puntos), estructura y fortaleza lechera (15 puntos), sistema mamario (40 puntos) y patas y pezuñas (20 puntos) con un total de 100 puntos. Los rasgos y variables fueron analizadas utilizando análisis de varianza y componentes principales (ACP). Hubo efecto racial ($p < 0,05$) en los rasgos de estructura y capacidad, estructura lechera y el sistema mamario. Sin embargo, no hubo diferencias ($p > 0,05$) para patas y pezuñas. La calificación final, peso vivo, perímetro torácico, altura de la cruz, producción de leche diaria y total a 250 días de lactancia fueron diferentes ($p < 0,05$) entre las razas. El ACP explicó 79,90% de la varianza de los datos. En conclusión, el análisis comparativo de las variables morfológicas, lineales y productivas permitió caracterizar a las razas Saanen con mayor habilidad lechera, con buenas conformaciones de estructura lechera y capacidad funcional. El análisis de componentes principales es una técnica estadística que permite separar las diferencias fenotípicas entre las razas Saanen y Parda Alpina, y también puede identificar de manera eficiente los individuos más sobresalientes de ambos grupos raciales.

PALABRAS CLAVE: calificación lineal, morfología, Parda Alpina, Saanen, varianza.

ABSTRACT. The objective of the present study was to evaluate the phenotypic selection of Saanen and Parda Alpina dairy goats using linear scoring in morphological, linear characteristics and dairy ability. 20 adult goats between 2 to 6 years old, 10 Saanen animals and 10 Parda Alpina were used. The linear



evaluation was carried out 45 days postpartum. In this study, 27 variables were evaluated, three morphological, two productive and 22 linear, from four body regions, which were divided into general appearance and capacity (25 points), milk structure and strength (15 points), mammary system (40 points) and legs and hooves (20 points) with a total of 100 points. Traits and variables were analyzed using analysis of variance and principal components (PCA). There was a racial effect ($p < 0.05$) in the traits of structure and capacity, dairy structure, and the mammary system. However, there were no differences ($p > 0.05$) for legs and hooves. The final score, live weight, chest circumference, height of the cross, daily and total milk production at 250 days of lactation were different ($p < 0.05$) between the breeds. The PCA explained 79.90% of the variance in the data. In conclusion, the comparative analysis of the morphological, linear and productive variables allowed us to characterize the Saanen breeds with greater dairy ability, with good conformations of dairy structure and functional capacity. Multivariate principal component analysis is an optimal statistical technique that allows us to separate the phenotypic differences between the Saanen and Brown Alpine breeds and can also efficiently identify the most outstanding individuals of both racial groups.

KEYWORDS: linear appraisal, morphology, Brown Alpine, Saanen, variance.

INTRODUCCIÓN

En Panamá, la producción de leche de cabras es una actividad importante en la ganadería nacional, con las razas Saanen, Anglonubiana y Alpina como las más utilizadas (Marquín-Batista *et al.*, 2022). Sin embargo, la selección de animales para los programas de mejoramiento animal se basa en características productivas individuales, como el peso, la producción y la calidad de la leche. Esta selección limitada puede no ser óptima, ya que no considera la relación entre las diferentes características morfológicas, productivas, reproductivas, longevidad, adaptación y la variación total de la población de una o más razas (Dickson *et al.*, 2000; Valsalan *et al.*, 2020).

Bajo este escenario, es esencial crear programas de selección adecuada y permanente de animales para atender los programas reproductivos con el propósito de mantener y mejorar la calidad genética caprina del país. En las últimas décadas, la medición morfológica ha sido utilizada en los sistemas ganaderos como un proceso evaluativo de la belleza animal, particularidades y defectos que ayudan a diferenciar y cuantificar la aptitud del animal en su actividad productiva. Para conocer la productividad de las cabras lecheras, es necesario caracterizar a los animales con una base de datos de producción y evaluación morfológica que permita identificar aquellos animales con mayor aptitud lechera para la producción (Dickson *et al.*, 2000; Fernández-Álvarez *et al.*, 2023).

El sistema de calificación lineal es un método de evaluación fenotípica que se enfoca en evaluar de forma individual cada aspecto morfológico que sea de importancia económica y, al mismo tiempo, sea alta o moderadamente heredable (Wiggans & Hubbard, 2001; Ruiz, 2008; Castañeda-Bustos *et al.*, 2017). Entre los rasgos morfológicos importantes a mejorar en las cabras lecheras se encuentran la apariencia general, la alzada de la cruz, el perímetro torácico, el peso corporal, la profundidad, la angulosidad o carácter lechero, el ancho y ángulo de la grupa, la altura de inserción posterior de la ubre, la anchura y profundidad de la ubre, la implantación y el diámetro de los pezones, el ligamento suspensor medio, y la fortaleza de las patas delanteras y traseras con buenos aplomos (Fernández-Álvarez *et al.*, 2021).

En este sentido, es necesario utilizar la biometría aplicada en la selección de los animales para analizar tanto los datos morfológicos como los productivos. Sin embargo, los análisis



univariados tradicionales pueden verse limitados cuando se trata de analizar múltiples variables y factores de distintas naturalezas (Okpeku et al., 2011; Castellaro et al., 2019).

Ante esta situación, los análisis multivariados son una opción estadística para realizar estudios multifactoriales con diversas variables de respuesta. A través de herramientas como los gráficos Biplot, es posible representar y analizar de forma completa estos datos (Chan, 2004; Hernández & Galindo, 2006; Sánchez et al., 2021).

Por consiguiente, es importante utilizar técnicas multivariadas, como el análisis de componentes principales, para evaluar simultáneamente diferentes características en la selección de cabras lecheras (Okpeku et al., 2011). Esto permitiría identificar animales con características deseables en términos de morfología, producción de leche y tipo, mejorando así la calidad de la población de cabras lecheras en el país.

Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las características morfológicas de las cabras lecheras Saanen y Parda Alpina, mediante la calificación lineal y el uso de análisis multivariado de componentes principales para la evaluación y selección fenotípica de cabras lecheras en condiciones de clima tropical húmedo. De esta forma, se busca contribuir al mejoramiento genético de esta importante especie en Panamá, y en especial de las razas Saanen y Parda Alpina, para lograr una mayor productividad, longevidad y rentabilidad en la industria caprina del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Estudio

Este experimento se llevó a cabo en la Granja del Tío Remy, una empresa que se dedica a la cría y producción de cabras lecheras en la comunidad de Gonzalillo, corregimiento de Ernesto Córdoba Campos, distrito de Panamá, provincia de Panamá. La granja se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: 9°6' de latitud norte y 79°31' de longitud oeste. El microclima del lugar presenta valores mínimos y máximos de temperatura ambiental (24,5 y 31,4 °C) y humedad relativa (57 y 83 %), respectivamente.

Animales y Sistema de Producción

Se utilizó una muestra de 20 cabras adultas, en su segunda a sexta lactancia, divididas equitativamente en dos razas: 10 de la raza Saanen y 10 de la raza Parda Alpina. Los animales fueron manejados en un sistema de producción estabulado, con ordeño doble diario. Durante el periodo de experimentación, se suministró un concentrado peletizado en dos porciones de 0,75 kg por animal, una en la mañana (8:00 a.m.) y otra en la tarde (4:00 p.m.).

Este concentrado fue formulado a base de harina de soya, maíz, trigo fino y grueso, pulidura de arroz, alfalfa, melaza, fósforo, sal y vitaminas A y D3. Proporcionaba un 18% de proteína cruda, una Energía Metabolizable de 2,95 Mcal por kg de MS, fibra cruda del 5,25%, calcio del 1,55% y fósforo del 0,78%. Además, se les ofreció un bloque mineral, agua y heno de pasto (*Digitaria swazilandensis*) de forma permanente. También se incluyó en su dieta pasto de corte picado (*Cenchrus purpureus ssp.*) métrica graduada en centímetros y milímetros, según el método propuesto por Hernández-Zepeda et al., (2002).

Evaluación Lineal

Esta evaluación lineal se llevó a cabo a los 45 días posteriores al parto de todos los animales, mediante una observación visual. Se empleó la metodología propuesta por la Asociación Americana de Cabras Lecheras de Estados Unidos (ADGA, 2019), la cual establece cuatro



regiones morfológicas con un total de 100 puntos a considerar: 1) apariencia general y fortaleza (25 puntos): en esta región se evaluaron variables como la estatura de la cruz, la fortaleza o amplitud del pecho, la profundidad del cuerpo, la anchura de la grupa y el ángulo de esta; 2) estructura y fortaleza lechera (15 puntos): se valoró la angulosidad y la calidad del hueso; 3) sistema mamario (40 puntos): se consideraron la inserción anterior y posterior de la ubre, su anchura y altura, el ligamento suspensor medio, la profundidad y la colocación de los pezones, así como el diámetro de los mismos; y 4) patas y pezuñas (20 puntos): se evaluaron las patas delanteras y traseras desde una perspectiva lateral y posterior, así como la movilidad de los animales (Figura 1).

Los rasgos morfológicos se evaluaron en una escala de 1 a 50 puntos, clasificada en tres grupos: bajo (1-5 puntos), intermedio (25 puntos) y alto (45-50 puntos). Luego, se sumaron todos los valores obtenidos por cada variable para obtener una calificación final por individuo. Según el promedio final, las cabras se clasificaron en seis categorías, considerando: 1). < 59 puntos (pobres o deficientes), 2). 60-69 puntos (regulares), 3). 70-79 puntos (aceptables), 4). 80-84 puntos (buenos), 5). 85-89 puntos (muy buenos) y 6). 90-100 puntos (excelentes).

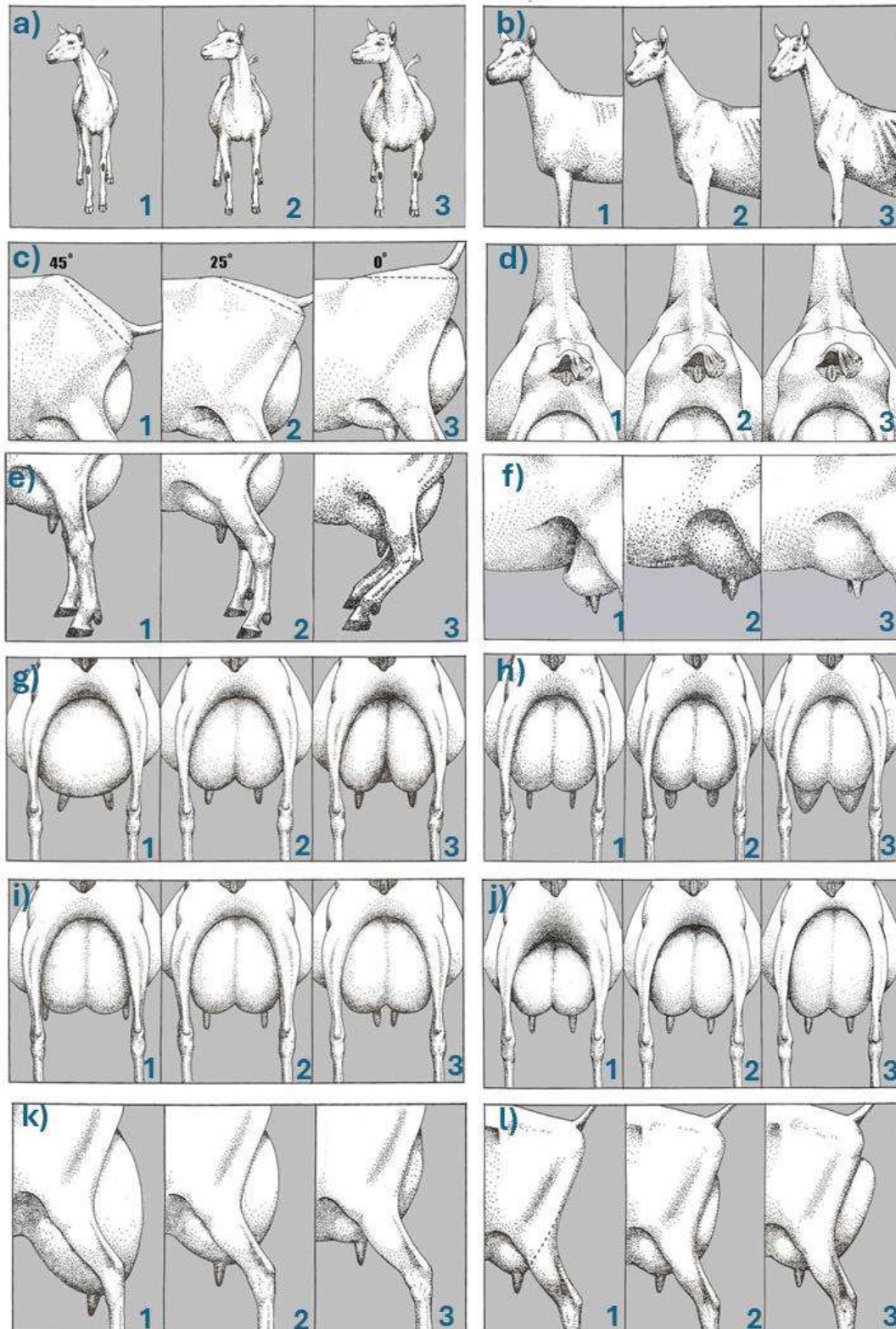
Desempeño Productivo

Para determinar el rendimiento productivo de leche, se realizó un minucioso registro que incluía la identificación de cada animal, su raza, el tiempo de ordeño y las fechas de colecta por semana. Este proceso se llevó a cabo para registrar la producción de leche de cada individuo, y se realizaba una vez a la semana, en dos horarios (7:00 a.m. y 4:00 p.m.) El objetivo era obtener una medición exacta y confiable de la cantidad de leche producida durante la lactancia, que abarcaba un periodo de 250 días. Para realizar estas mediciones, se utilizó una balanza digital de alta precisión (modelo EK6015) capaz de pesar hasta 5,0 kg de leche.



Figura 1

Guía de evaluación lineal en cabras lecheras para los rasgos **a)** apariencia general y fortaleza, **b)** estructura lechera, **c)** ángulo de la grupa, **d)** anchura de la grupa, **e)** patas traseras, vista lateral, **f)** inserción anterior de la ubre, **g)** ligamento suspensorio medio, **h)** diámetro del pezón, **i)** colocación de los pezones, vista posterior, **j)** altura de la ubre, **k)** profundidad de la ubre y **l)** ubre trasera, vista lateral. Estos rasgos son calificados en tres categorías: **1:** bajo (1-5 puntos), **2:** intermedio (25 puntos) y **3:** alto (40-50 puntos).



Fuente: Asociación Americana de Cabras Lecheras de Estados Unidos (ADGA, 2019).



Diseño y Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos morfológicos, lineales y productivos, se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + e_{ij}$$

Donde Y_{ij} representa las variables de respuesta (morfológicas, lineales y productivas), μ es la media general, R_i es el efecto de la i -ésima raza (Parda Alpina y Saanen) y e_{ij} es el error aleatorio de la i -ésima raza y la j -ésima repetición.

En el caso de las variables de evaluación lineal y desempeño productivo, se utilizó un modelo lineal generalizado (glm) ajustado a la distribución de Poisson cuando las variables no cumplían con los supuestos estadísticos. La normalidad de los errores residuales en los modelos fue verificada mediante la prueba de Shapiro-Wilk, utilizando el gráfico de cuantiles normales y el histograma. Para seleccionar el mejor ajuste de los modelos, se utilizó el procedimiento de 'step-up' basado en los criterios de información de Akaike (AIC) y de información bayesiana (BIC). Se conservaron los valores atípicos ya que se consideraron variaciones individuales dentro de cada raza.

Posteriormente, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para investigar posibles asociaciones entre las variables morfológicas, lineales y productivas. Se tomó en cuenta una asociación significativa cuando el valor de carga era mayor o igual a 0,50 o menor o igual a -0,50. El número óptimo de componentes a retener fue determinado a través del análisis paralelo de Horn (Preacher & MacCallum, 2003).

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el software R (R Core Team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Apariencia General y Capacidad

La estatura y capacidad, peso vivo, perímetro torácico, alzada de la cruz y la profundidad presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las razas Saanen y Parda Alpina. Sin embargo, la anchura de pecho, ancho de grupa y el ángulo de grupa no mostraron diferencias ($p > 0,05$) entre las razas. La evaluación lineal indicó que la raza Saanen presentaron un puntaje superior en comparación las cabras Pardas Alpina, siendo valoradas con 15,38% más puntos en la estructura y capacidad (Tabla 1).

La comparación entre las razas Saanen y Parda Alpina demostró que las cabras Saanen tienen una apariencia más adecuada para la producción lechera, tanto en términos de estructura y capacidad como en su peso vivo, perímetro torácico, estatura y profundidad, confirmando así los resultados de Chacón & Boschini (2017). Además, Fernández-Álvarez et al. (2020) destaca la importancia de la procedencia genética de los animales y la influencia de la nutrición balanceada en la producción de cabras lecheras, ya que estos factores tienen un impacto significativo en la apariencia y capacidad de las cabras y, por lo tanto, en su capacidad para producir leche.

De acuerdo con la ADGA (2019) el ancho y ángulo de la grupa son rasgos fundamentales en la morfología de las hembras, porque se relaciona con la facilidad del parto de las cabras, es decir cuanto más ancho sea la grupa y con una buena inclinación, más fácil será la labor del parto. Este indicador zootécnico es importante para evitar los partos distócicos en las granjas.



Estos resultados sugieren que, al momento de seleccionar y cuidar cabras destinadas a la producción lechera, es crucial considerar tanto su genética, adaptación y alimentación para obtener buenas producciones. Asimismo, los criadores y productores pueden usar esta información para tomar decisiones más informadas y elegir las razas más adecuadas para su producción.

Estructura y Fortaleza Lechera

La estructura, fortaleza y angulosidad de las cabras lecheras presentaron diferencias notables entre las razas Saanen y Parda Alpina. Sin embargo, ambas razas mostraron una buena calidad del hueso, sin diferencias significativas entre ellas. Las cabras Saanen destacaron en su estructura lechera y angulosidad, lo que las hace más adecuadas para la producción de leche. En términos generales, ambas razas presentaron características típicas de animales productores de leche, con una conformación ósea adecuada y un hueso limpio y chato en la altura del garrón (Montes *et al.*, 2013).

Sistema Mamario

Los rasgos del sistema mamario, como la profundidad de la ubre y el diámetro del pezón presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las razas. Sin embargo, la inserción anterior de la ubre, altura de inserción de la ubre, ligamento suspensor medio, anchura de inserción posterior de la ubre y la colocación de los pezones no indicaron diferencia ($p > 0,05$) entre las razas evaluadas. La raza Saanen presentaron un puntaje superior en comparación las Pardas Alpina, siendo valoradas con 12,5% mayor puntaje en el sistema mamario (Tabla 1).

Los resultados indican que hay diferencias en la conformación y desarrollo del sistema mamario entre las razas Saanen y Parda Alpina (Manfredi *et al.*, 2001). La raza Saanen mostró un sistema mamario más profundo y con pezones mejor colocados en comparación con la Parda Alpina. Estos resultados tienen un significado importante en términos de productividad y longevidad de las cabras lecheras, ya que un sistema mamario bien desarrollado y conformado puede mejorar la producción de leche y la salud de la ubre (Massender *et al.*, 2022; Fernández-Álvarez *et al.*, 2023). Esto, a su vez, puede aumentar la vida útil de las cabras y su rentabilidad (Montes *et al.*, 2013).

Estos hallazgos resaltan la importancia de la selección genética y la alimentación adecuada para el desarrollo del sistema mamario en las cabras lecheras para mejorar su productividad y longevidad (Martínez *et al.*, 2018; Cedeño *et al.*, 2023). Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo una selección cuidadosa en términos de conformación de ubre y pezones en la cría de cabras lecheras para mejorar su desempeño y rentabilidad en la producción de leche.

Es importante destacar el efecto del número de parto en el desarrollo de la glándula mamaria, aunque en este estudio no fue considerado debido al número pequeño de animales. Las cabras de segundo y tercer parto presentan mayor desarrollo de la glándula mamaria en comparación a las cabras primíparas. Por tanto, se recomienda tomar en cuenta este factor para los análisis de evaluación lineal con poblaciones de cabras más grandes. De esta forma, se realizará una evaluación morfológica adecuada para cada categoría de animales de acuerdo con la raza, edad y número de parto o lactancia.

Patás y Pezuñas

El análisis de las características de patas y pezuñas, movilidad y aplomo no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las razas en estudio (Tabla 1), lo que sugiere que ambas razas presentan una buena conformación en estas áreas. Esto es fundamental para



asegurar la salud y longevidad de los animales en el sistema de producción (McLaren et al., 2016). Además, la evaluación adecuada de la movilidad y aplomo es esencial para seleccionar animales fuertes y resistentes, especialmente en sistemas extensivos y en climas tropicales (Mellado, 2008; Buzanskas et al., 2013).

Por lo tanto, estos resultados son importantes para la toma de decisiones en la selección y manejo del ganado de estas dos razas en particular.

Calificación Final y Desempeño Productivo

La calificación final y las variables producción de leche diaria y producción de leche total ajustada a 250 días presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las razas (Tabla 1), confirmando los resultados de Erduran (2021). En particular, se observó que la raza Saanen obtuvo una puntuación final más alta y una mayor producción de leche en comparación con las otras razas evaluadas. Estos hallazgos sugieren que existen diferencias genéticas entre las razas, lo que podría influir en las características de producción de leche en las cabras. Por lo tanto, se podría utilizar la selección y el cruzamiento para mejorar la producción lechera en estas especies (Biffani et al., 2020).

Los promedios observados de producción diaria en este ensayo son superiores a lo reportado por Frau et al., (2010) quienes informaron una producción media de aproximadamente $1,27 \pm 0,27$ kg/cabra/día para cabras Saanen manejadas en sistema extensivo. Mientras que un grupo de cabras Alpinas manejadas en sistema semi-estabulado presentaron produjeron entre 1,13 a 1,43 kg/cabra/día (Ribas & Gutiérrez, 2001). Esta diferencia se debe posiblemente al mejoramiento genético, manejo y al sistema de producción utilizado para los animales en este estudio, lo cual se considera crucial para tomar decisiones en la nutrición y alimentación durante el periodo de lactancia de las cabras. Además, es posible seleccionar los animales con mejor rendimiento productivo que pueden ser incluidas posteriormente a los programas de mejoramiento genético de la granja caprina.

Tabla 1

Media \pm desviación estándar de variables morfológicas, características lineales y productivas de cabras Parda Alpina y Saanen manejadas en sistema estabulado bajo condiciones tropicales (n=20).

Rasgos y Variables	Razas		SEM	F-valor	p-valor
	Parda Alpina	Saanen			
Morfológicas					
AC (cm)	67,98 \pm 5,40	72,57 \pm 4,80	5,55	6,98	0,03
PV (kg)	48,56 \pm 4,24	54,26 \pm 9,46	7,33	5,96	0,02
PT (cm)	84,0 \pm 2,58	91,5 \pm 4,81	3,86	6,21	0,02
ESTYCAP (pts)	18,25 \pm 3,86	22,62 \pm 4,10	2,67	6,09	0,02
ESTAT (pts)	3,39 \pm 0,76	4,61 \pm 0,75	0,75	0,44	0,52
ANCPEC (pts)	3,94 \pm 0,75	4,97 \pm 0,66	0,71	3,01	0,10
PROFUN (pts)	4,05 \pm 0,73	4,62 \pm 0,67	0,70	3,97	0,04
ANCHGRU (pts)	3,93 \pm 1,08	4,64 \pm 0,69	0,91	3,10	0,10
ANGRU (pts)	2,94 \pm 0,54	3,78 \pm 1,33	1,24	2,26	0,15
ESTLECH (pts)	10,27 \pm 2,63	12,47 \pm 2,29	2,29	5,37	0,03
ANGUL (pts)	6,97 \pm 2,24	9,22 \pm 1,90	2,07	5,89	0,03
CALHU (pts)	3,30 \pm 0,39	3,25 \pm 0,39	0,39	0,18	0,67



SISTMAM (pts)	30,34 ± 6,25	33,27 ± 5,89	3,25	5,35	0,03
INAU (pts)	4,11 ± 0,59	4,46 ± 0,65	0,62	1,53	0,23
AILPU (pts)	4,00 ± 0,81	5,23 ± 0,77	0,79	0,42	0,52
LSM (pts)	3,67 ± 1,14	4,81 ± 0,90	1,03	0,09	0,77
ANIPU (pts)	5,31 ± 1,26	4,00 ± 0,97	1,12	1,87	0,19
PROFUB (pts)	5,04 ± 0,84	4,10 ± 0,80	0,82	1,91	0,04
COLPE (pts)	4,66 ± 0,70	5,04 ± 0,64	0,67	1,60	0,22
DIAPE (pts)	3,55 ± 0,91	5,63 ± 1,16	1,04	5,38	0,03
PATYPIE (pts)	17,07 ± 2,29	18,23 ± 2,53	1,37	0,42	0,52
PTVP (pts)	5,34 ± 0,67	6,64 ± 1,02	0,86	0,00	1,00
PTVL (pts)	5,19 ± 1,20	5,19 ± 0,67	0,97	0,00	1,00
MOVI (pts)	6,54 ± 0,42	6,40 ± 0,84	0,67	0,20	0,66
CFINAL (pts)	75,93 ± 6,72	86,59 ± 6,55	6,64	9,37	0,006
PLDKG (kg)	1,85 ± 0,11	2,25 ± 0,09	0,10	40,69	0,0001
PL250 (kg)	462,50 ± 27,13	562,51 ± 23,57	25,41	40,67	0,0001

AC: Altura a la cruz, PV: Peso vivo (kg), PT: perímetro torácico, ESTYCAP: Estructura y capacidad (pts), ESTLECH: Estructura lechera (pts), SISTMAM: Sistema mamario (pts), PATYPIE: Patas y pezuñas (pts), ESTAT: Estatura (pts), ANCPPEC: Ancho de pecho (pts), PROFUN: Profundidad animal (pts), ANCHGRU: Ancho de grupa (pts), ANGRU: Angulo de grupa (pts), ANGUL: Angulosidad (pts), CALHU: Calidad de Hueso (pts), PTVP: Patas traseras vista posterior (pts), PTVL: Patas traseras vista lateral (pts), MOVI: Movilidad (pts), INAU: Inserción anterior de la ubre (pts), AILPU: Altura de inserción de la ubre (pts), LSM: Ligamento suspensor medio (pts), ANIPU: Anchura de inserción posterior de la ubre (pts), PROFUB: Profundidad de ubre (pts), COLPE: Colocación de los pezones (pts), DIAPE: Diámetro de los pezones (pts), CFINAL: Calificación final (pts), PLDKG: Producción de leche diaria (kg), PL250: Producción de leche total a 250 días.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

La Tabla 2 muestra las correlaciones de distintas variables morfológicas, lineales y productivas de cabras de las razas Saanen y Parda Alpina en dos componentes principales. Además, se indica la contribución de cada variable en la varianza de los componentes.

En el primer componente (PC1), se agrupan principalmente las variables relacionadas con el peso, la apariencia general y la capacidad de las cabras. Se observa una alta correlación positiva con el peso vivo (0,80), el perímetro torácico (0,81) y la estructura y capacidad (0,83), lo que sugiere que estas variables tienen una influencia significativa en la formación de este componente debido a su contribución a la varianza.

El segundo componente principal (PC2), en cambio, agrupa las variables relacionadas con la estructura lechera y el sistema mamario de las cabras. Se muestra una correlación inversa fuerte con la estructura y capacidad (-0,37) y la estructura lechera (-0,14), lo que sugiere que este componente se relaciona principalmente con la calidad y fortaleza en la producción de leche de las cabras.

Algunas variables morfológicas, como la estatura, altura y anchura de la grupa tienen una correlación moderada con ambos componentes, lo que indica que pueden influir tanto en el peso y la apariencia general como en la estructura lechera y el sistema mamario.

En cuanto a la contribución de la varianza, se observa que la mayoría de las variables morfológicas y lineales tienen un aporte significativo en ambos componentes principales, lo que demuestra su importancia en la definición de la morfología y el rendimiento productivo de estas razas de cabras.



Finalmente, se destaca una fuerte correlación positiva entre la calificación final y el rendimiento en la producción de leche, lo que apunta a que los animales con una mejor evaluación morfológica y lineal también obtienen un mejor rendimiento lácteo. Estos resultados pueden ser de gran utilidad para la selección y el mejoramiento genético de las razas Saanen y Parda Alpina en términos de su morfología y productividad.

Tabla 2

Correlación de variables morfológicas, lineales y productivas de cabras Parda Alpina y Saanen con respecto a los dos componentes principales y la contribución de la varianza (n=20).

Rasgos	Variables	PC 1	PC 2
Morfológicos	PESO (kg)	0,80	0,09
	PT (cm)	0,81	0,11
Apariencia General y Capacidad	ESTYCAP (pts)	0,83	-0,37
	ESTAT (pts)	0,11	0,28
	ANCPEC (pts)	0,63	-0,56
	PROFUN (pts)	0,57	0,02
	ANCHGRU (pts)	0,53	-0,49
	ANGRU (pts)	0,78	-0,36
Estructura y fortaleza Lechera	ESTLECH (pts)	0,78	-0,14
	ANGUL (pts)	0,78	-0,11
	CALHU (pts)	0,35	-0,26
Sistema Mamario	SISTMAM (pts)	0,76	0,48
	INAU (pts)	0,52	-0,20
	AILPU (pts)	0,50	0,14
	LSM (pts)	0,28	0,49
	ANIPU (pts)	0,64	0,03
	PROFUB (pts)	0,48	0,21
	COLPE (pts)	0,54	0,49
	DIAPE (pts)	0,22	0,60
Patas y Pezuñas	PATYPIE (pts)	0,48	-0,38
	PTVP (pts)	0,33	0,11
	PTVL (pts)	0,03	0,01
	MOVI (pts)	0,26	-0,41
Calificación Final y Desempeño Productivo	CFINAL (pts)	0,99	-0,04
	PLDKG (kg)	0,60	0,50
	PL250 (kg)	0,60	0,50
	Autovalores	9,20	3,01
	Varianza %	35,39	11,57

PV: Peso vivo (kg), PT: perímetro torácico, ESTYCAP: Estructura y capacidad (pts), ESTLECH: Estructura lechera (pts), SISTMAM: Sistema mamario (pts), PATYPIE: Patas y pezuñas (pts), ESTAT: Estatura (pts), ANCPEC: Ancho de pecho (pts), PROFUN: Profundidad animal (pts), ANCHGRU: Ancho de grupa (pts), ANGRU: Angulo de grupa (pts), ANGUL: Angulosidad (pts), CALHU: Calidad de Hueso (pts), PTVP: Patas traseras vista posterior (pts), PTVL: Patas traseras vista lateral (pts), MOVI: Movilidad (pts), INAU: Inserción anterior de la ubre (pts), AILPU: Altura de inserción de la ubre (pts), LSM: Ligamento suspensor medio (pts), ANIPU: Anchura de inserción posterior de la ubre (pts), PROFUB: Profundidad de ubre (pts), COLPE: Colocación de los pezones (pts), DIAPE: Diámetro de los pezones (pts), CFINAL: Calificación final (pts), PLDKG: Producción de leche diaria (kg), PL250: Producción de leche total a 250 días, PC 1: componente principal 1, PC 2: componente principal 2.



La evaluación lineal morfológica en la producción animal es una herramienta clave para mejorar el rendimiento y la calidad de los animales de cría en una determinada región. En el caso de las cabras lecheras, como las razas Saanen y Parda Alpina, la selección basada en la morfología y las características productivas puede tener un impacto significativo en el rendimiento lácteo y, por lo tanto, en la rentabilidad de los productores.

En este contexto, los resultados del análisis de componentes principales (ACP) realizado por Benyoub et al. (2018) en cabras locales en Argelia, Fernández-Álvarez et al. (2021) en España, y Cedeño et al. (2023) en Panamá, entre otros estudios, demuestran la importancia entre la morfología y las características lineales en la producción, adaptación y selección de cabras con mejor habilidad lechera.

La alta correlación positiva entre el peso vivo, el perímetro torácico y la estructura y capacidad en el primer componente principal (PC1) del ACP indica que estas variables tienen una influencia significativa en la formación de este componente. Esto sugiere que los animales con un mayor peso y tamaño, así como una mejor estructura y capacidad, pueden tener un mayor potencial de producción de leche (Figura 2).

Por otro lado, en el segundo componente principal (PC2) se observa una correlación inversa entre la estructura y capacidad y la estructura lechera, lo que sugiere que este componente está relacionado con la calidad y fortaleza en la producción de leche. Esto refuerza la importancia de seleccionar animales con una buena estructura y capacidad en el sistema mamario para garantizar un rendimiento estable y de alta calidad en la producción de leche.

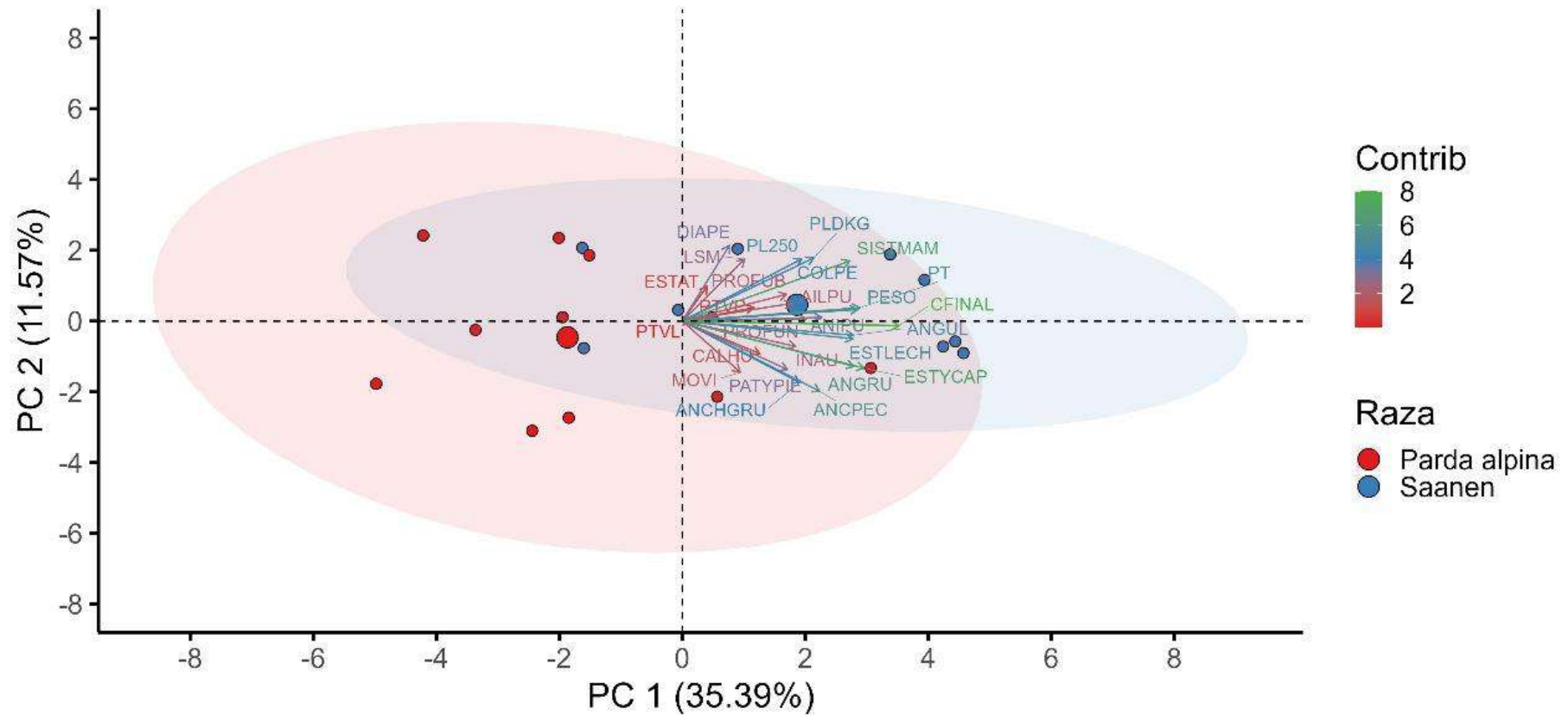
Además, la correlación positiva entre la calificación final y el rendimiento en la producción de leche encontrada por Fernández-Álvarez et al. (2021) es una evidencia adicional de la importancia de la morfología y las características lineales en la producción lechera de cabras. Esto sugiere que la selección de cabras con una mejor evaluación morfológica y lineal puede llevar a una mejora en el rendimiento lácteo y, por lo tanto, en la productividad y rentabilidad de los productores.

De esta forma, los resultados del ACP y otros estudios realizados en diferentes regiones muestran claramente la importancia de la morfología y las características lineales en la selección y el mejoramiento genético de las razas Saanen y Parda Alpina. Estos hallazgos tienen importantes implicaciones en la posibilidad de obtener un mejor rendimiento lácteo en las cabras de la región, ya que la selección adecuada de animales con características morfológicas y productivas deseables puede tener un impacto significativo en la productividad y rentabilidad de los productores de cabras lecheras.



Figura 2

Gráfico Biplot de variables morfológicas, lineales y productivas para los componentes Principales (PC 1 y PC2). Los círculos menores indican la variación individual. Círculos mayores representan el centroide para las cabras Parda Alpina y Saanen. Las elipses indican la concentración de los datos, las flechas indican los vectores de cada una de las variables con sus contribuciones (n=20).





Se realizó un segundo análisis multivariado, incluyendo la identificación individual de los animales, los rasgos morfológicos, la producción de leche y la calificación final. Las características evaluadas en la calificación lineal fueron distribuidas en dos componentes principales, que explicaron en conjunto el 79,90% de la variabilidad de los datos. El primer componente explicó el 57,10% de la varianza y caracterizó principalmente las variables relacionadas con la productividad y morfología, como la producción de leche diaria y total a 250 días de lactancia, calificación final, sistema mamario y estructura lechera. El segundo componente explicó el 22,80% de la varianza y se relacionó principalmente con los rasgos de conformación, como el ancho de grupa, ancho de pecho, profundidad de ubre, y patas y pezuñas (Figura 3).

A través del análisis de componentes principales, fue posible identificar a los animales más sobresalientes de ambas razas en estudio. En el caso de la raza Saanen, se identificaron siete animales con calificaciones de buena y muy buena (números 15, 14, 16, 23, 25, 27 y 44), mientras que en la raza Parada Alpina, se identificaron dos animales con calificaciones regulares y aceptables (números 2 y 11). Esto indica que ambas razas presentan animales con buena conformación y capacidad productiva que podrían ser utilizados para mejorar genéticamente el rebaño.

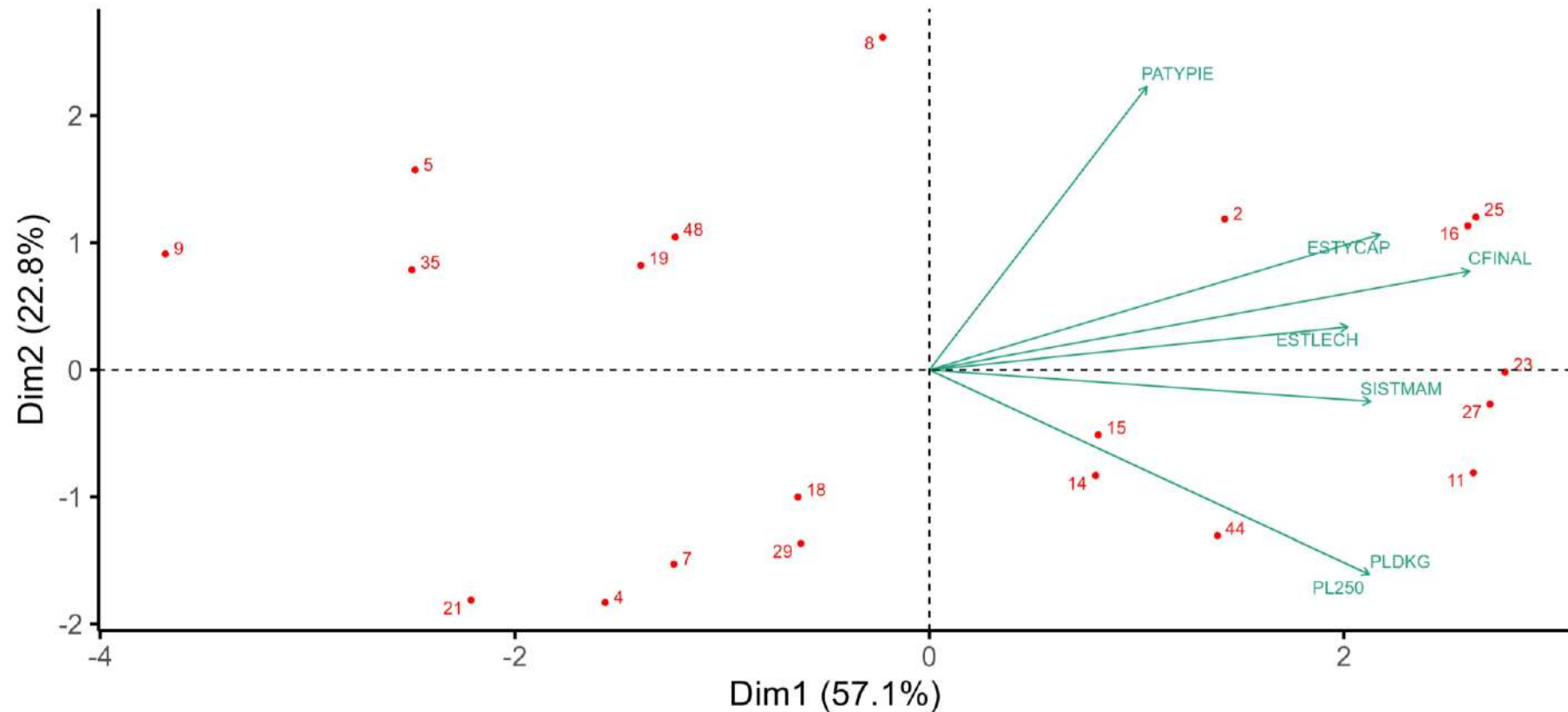
Es importante mencionar que ningún animal fue calificado como pobre o deficiente (< 59 pts), lo que sugiere que todas las cabras evaluadas presentan características morfológicas adecuadas para la producción lechera. Sin embargo, no se encontraron animales con calificación excelente (90 a 100 pts), lo que indica que aún hay espacio para mejorar la conformación y productividad de los animales.

De esta forma, este estudio resalta la importancia de la evaluación lineal en la selección de animales productores de leche, ya que permite identificar a los individuos más aptos en términos de productividad y conformación. Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de realizar programas de mejoramiento genético basados en la selección de animales con buenas calificaciones lineales, y, además, realizar evaluaciones genéticas y análisis genómicos para identificar genes relacionados con la producción y calidad de la leche en estas razas lecheras. Por lo tanto, se recomienda continuar con la investigación y el seguimiento de las características morfológicas y productivas en la selección y mejoramiento genético de estas razas, con el fin de obtener un mayor rendimiento lácteo y una mayor rentabilidad en la producción de leche de cabra.



Figura 3

Gráfico Biplot de la variación individual para cabras Parda Alpina (n=10) y Saanen (n=10) de acuerdo con los rasgos lineales y las variables productivas para los componentes Principales (PC 1 y PC 2). Los números 8, 15, 14, 16, 18, 23, 25, 27, 29 y 44 representan la identificación individual de cabras de raza Saanen y los números 2, 4, 5, 7, 9, 11, 19, 21, 35 y 48 son cabras Parda Alpina. Los animales con números resaltados en negrita son las cabras más sobresalientes de ambas razas.



CONCLUSIONES

La evaluación lineal indicó que las cabras Parda Alpina y Saanen tienen buenas características morfológicas y productivas, debido a su apariencia general y capacidad, estructura lechera, buena conformación de las patas y pezuñas, sistema mamario bien desarrollados y presentan rendimientos productivos aceptables, sobresaliendo la raza Saanen con mejor aptitud lechera en sistema estabulado bajo condiciones tropicales.

El análisis de componentes principales es una alternativa para evaluar estudios de selección fenotípica en cabras lecheras, ya que permite analizar múltiples variables de respuestas y puede compararse entre razas e identificar de manera eficiente, los individuos sobresalientes de ambos grupos raciales, que preliminarmente pueden ser considerados para la reproducción del hato y los cuales pueden ser evaluados dentro de un programa de mejora genética que considere la información fenotípica, genealógica e incluso genómica.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Gabriel Remy, Sr. Gabriel J. Remy R. y Norma E. Serrano M. propietarios de la granja, por facilitar las instalaciones y permitir el uso de los animales en estudio. Al Sr. Jorge Adames por el apoyo con el manejo de los animales durante el experimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Dairy Goat Association (ADGA). (2019). American Dairy Goat Association Guide Book. American Dairy Goat Association. Spindale, NC. https://adga.org/wp-content/uploads/2019/02/LABOOKLETALL_19.pdf
- Benyoub, K., Ameer-Ameer, A., & Gaouar, S. (2018). Phenotypic characterization of local goats populations in western Algerian: Morphometric measurements and milk quality. *Genetics and Biodiversity Journal*, 2(1), 73-80. <https://journals.univ-tlemcen.dz/GABJ/index.php/GABJ/article/view/116/81>
- Biffani, S., Tiezzi, F., Pancrazio, F., Stella, A., & Minozzi, G. (2020). Genetic parameters of weeping teats in Italian Saanen and Alpine dairy goats and their relationship with milk production and somatic cell score. *Journal of Dairy Science*, 103(10) 9167-9176. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18175>
- Buzanskas, M., Savegnago, R., Grossi, D., Venturini, G., Queiroz, A., Silva, L., Junior, R., Munari, D., & Alencar, M. (2013). Genetic parameter estimates and principal component analysis of breeding values of reproduction and growth traits in female Canchim beef cattle. *Reproduction, Fertility and Development*, 25(5), 75-81. <https://doi.org/10.1071/RD12132>

- Castañeda-Bustos, V., Montaldo, H., Valencia-Posadas, M., Shepard, L., Pérez-Elizalde, O., Hernández-Mendo, O., & Torres-Hernández, G. (2017). Linear and nonlinear genetic relationships between type traits and productive life in US dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 100 (2), 1232-1244. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11313>
- Castellaro, G., Orellana, C., Escanilla, J., & Ruz, Y. (2019). Características morfo-estructurales de un rebaño caprino de la zona mediterránea central de Chile. *Ciencia Animal*, 47(2), 19-29. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2019.v47n2-03>
- 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 húmedo. *Revista Semilla del Este*, 4(1), 166-191. <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v4n1.4446>
- Chacón, P. y Boschini, C. (2017). Peso estimado en cabras con una cinta comercial de pesaje y perímetro torácico. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1), 229-236. [doi:10.15517/am.v28i1.21611](https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21611)
- Chan, Y. (2004). Bioestatistic 302. Principal component and fator analysis. *Singapore Med J*, 45(12)558-565. www.smj.org.sg/sites/default/files/4512/4512bs1.pdf
- Dickson, L., Torres, G., Becerril, C. y Garcia, O. (2000). Producción de leche y duración de la lactancia en cabras (*Capra hircus*) Alpinas y Nubias importadas a Venezuela. *Vet. Méx.*, 31(1) 21- 26. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2000/vm001c.pdf>
- Erduran, H. (2021). Crossbreeding of hair goats with Alpine and Saanen bucks: Production and reproduction traits of Native Hair goats in supplementary feeding in different physiological stage in natural pasture-based system. *Small Ruminant Research*, 203, 106494. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106494>
- Fernández-Álvarez, J., León-Jurado, J., Navas-González, F., Iglesias-Pastrana, C., & Delgado-Bermejo, J. (2020). Optimization and validation od a linear appraisal scoring system for milk production-linked zoometric traits in Murciano-Granadina Dairy goats and bucks. *Applied. Sciences*, 10(16), 5502. <https://doi.org/10.3390/app10165502>
- Fernández-Álvarez, J., León-Jurado, J., Navas-González, G., Iglesias- Pastrana, P., & Delgado-Bermejo, B. (2021). CAPRIGAN Linear Appraisal Evidences Dairy Selection Sings in Murciana-Granadina Goats and Bucks: Presentation of the New Linear Appraisal Scale. *Archivo de Zootecnia*, 70(271) 240-245. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8319194>
- Fernández-Álvarez, J., Navas-González, F., León-Jurado, J., Iglesias-Pastrana, C., & Delgado-Bermejo, J. (2023). Analysis of the Genetic Parameters for Dairy Linear Appraisal and Zoometric Traits: A Tool to Enhance the Applicability of Murciano-Granadina Goats Major Areas Evaluation System. *Animals*, 13(6), 1-22. <https://doi.org/10.3390/ani13061114>

- Frau, S., Togo, J., Pece, M., Paz, R. y Font, G. (2010). Estudio comparativo de la producción y composición de leche de cabra de dos razas diferentes en la provincia de Santiago del Estero. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 109(1) 9-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5718159>
- Hernández, S. y Galindo, M. (2006). BIPROB: un método para obtener un Biplot robusto. *Revista Investigación Operacional*, 27(3), 287-299. <https://revistas.uh.cu/invoperacional/article/view/6391/5410>
- Hernández-Zepeda, J., Franco-Guerra, F., Herrera-García, M., Rodero-Serrano, E., Sierra-Vasqu ez, A., Bañuelos-Cruz, A. y Delgado, J. (2002). Estudios de los recursos genéticos de México: características morfológicas y morfo estructurales de los caprinos nativos de Puebla. *Archivos de Zootecnia*, 51(194), 53-64. <https://redalyc.org/pdf/495/49519408.pdf>
- Manfredi, E., Piacere, A., Lahaye, P., & Ducrocq, V. (2001). Genetic parameters of type appraisal in Saanen and Alpine Goats. *Livestock Production Science*, 70(3), 183-189. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00180-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00180-4)
- Marquínez-Batista, L., Saldaña-Ríos, C., Moreno, 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(1), 30-52. www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/594/474
- Martínez, G., León-Jurado, J., Suarez, V. y Barba-Capote, C. (2018). Determinación de la curva de lactancia de cabras Saanen del noroeste argentino. *Revista Fave-Sección Ciencias Veterinarias*. 17, 6-11, <https://doi.org/10.14409/favecv.v17i1.7159>
- Massender, E., Brito, L., Maignel, L., Oliveira, H., Jafarikia, M., Baes, C., Sullivan, B., & Schenkel, F. (2022). Single-and multiple-breed genomic evaluations for conformation traits in Canadian Alpine and Saanen dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 105(7), 5985-6000. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21713>
- MacLaren, A., Mucha, S., Mrode, R., Coffey, M., & Conington, J. (2016). Genetic parameters of linear conformation type traits and their relationship with milk yield throughout lactation in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5516-5525. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10269>
- Mellado, M. (2008). Técnica para el manejo reproductivo de las cabras en agostadero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 9(1), 47-63. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911227005.pdf>
- Montes, V., Moreno, M., Hurtado-Lugo, N., Ramirez, U., Celys, E. y Garay, O. (2013). Caracterización faner ptica y morfológica de la hembra ovina de pelo criollo (Camura) colombiana, en la sub región sabanas y golfo de Morrosquillo Departamento de Sucre. *Revista Colombiana Ciencia Animal*. 5(1) 104-115. <https://recia.edu.co/index.php/recia/article/view/475/522>

- Okpeku, M., Yakubu, A., Peters, S., Ozoje, M., Ikeobi, C., Adebambo, O., & Imumorin, I. (2011). Application of multivariate principal component analysis to morphological characterization of indigenous goats in Southern Nigeria. *Acta Agriculturae Slovenica*, 98(2), 101-109. doi: [10.2478/v10014-011-0026-4](https://doi.org/10.2478/v10014-011-0026-4)
- Preacher, K., & MacCallum, R. (2003). Repairing Tom Swift's electric factor analysis machine. *Underst. Stat.* 2(1), 13-43. https://doi.org/10.1207/s15328031US0201_02.
- Ribas, M. y Guitierrez, M. (2001). Primeros resultados de producción de leche y duración de la lactancia de razas caprinas especializadas en cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(2), 105-112. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018220003.pdf>
- Ruiz, I. (2008). Valoración morfológica en ganado caprino lechero. Centro de Selección y Mejora Genética de la raza caprina Murciano-Granadina. Región de Murcia. Consejería de Agricultura y Agua. Murcia. DP: Mu-2.734-2008. pp 11 - 14.
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>
- Sánchez, R., Granados, L., Salinas, H., Maldonado, J., Hernández, E. y Cigarroa, F. (2021). Selección preliminar de cabras Blancas Celtibérica mediante una técnica multivariada. *Zootecnia Tropical*. 39, 1-6. DOI: [10.5281/zenodo.4484416](https://doi.org/10.5281/zenodo.4484416)
- Valsalan, J., Sadan, T., & Venketachalopathy, T. (2020). Multivariate principal component analysis to evaluate growth performances in Malabari goats of India. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 2451-2460. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02268-9>
- Wiggans, G., & Hubbard S. (2001). Genetic evaluation of yield and type traits of dairy goats in the United States. *Journal of Dairy Science*. 84:E69–E73. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(01\)70199-3/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(01)70199-3/pdf)



EVALUACIÓN GENÉTICA PARA PESO AL NACER EN GANADO GUZERAT EN EL ESTADO PORTUGUESA DE VENEZUELA

GENETIC EVALUATION FOR BIRTH WEIGHT IN GUZERAT CATTLE IN THE PORTUGUESA STATE OF VENEZUELA

* *Pérez González, José R.* Universidad Politécnica Territorial de Maracaibo, Venezuela.

josejrpg1995@gmail.com <https://orcid.org/0009-0007-2442-486X>

Álvarez Rodríguez, Álvaro J. Centro de Cría Madre Vieja, Venezuela.

guzeraa@gmail.com

Morales Valladares, David D. Universidad del Zulia, Venezuela.

davidmorales197913@gmail.com

*Autor de Correspondencia: josejrpg1995@gmail.com

Recibido: 04/03/2024

Aceptado: 13/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5172>

RESUMEN. Se analizaron 1387 registros de peso al nacer (PN) de vacunos Guzerat, registrados desde el año 2012 hasta el 2022, pertenecientes al centro genético ganadería madre vieja CA, ubicado en Papelon estado portuguesa. Para estimar la heredabilidad (h^2) para PN se utilizaron 3 modelos estadísticos diferentes, usando el método de REML para calcular los componentes de varianza y la heredabilidad. Para conocer el efecto de los factores fijos (sexo y año de nacimiento), se utilizó una prueba F y el criterio del valor P, donde valores de $P < 0.05$ (5%) indican diferencias significativas entre los niveles de un factor. Para calcular las estadísticas descriptivas se utilizó el programa y los componentes de varianza del primer modelo se usó el programa SAS, y para los modelos restantes uso el Wombat. La heredabilidad directa (h^2) y materna (m^2) para PN resultaron bajas ($h^2 < 0.25$) para los 3 modelos lo que indica que las diferencias observadas en el PN solo son atribuidas a efectos aditivos y maternos en menor proporción. Debido a la baja heredabilidad para PN, se espera que la selección genética para mejorar esta característica cause un efecto tardío en la mejora del carácter en la población. Aunque la heredabilidad es baja para PN se recomienda tomar en consideración estos resultados, con el objetivo de poder evitar partos distócicos causados por el nacimiento de becerros muy pesados y también corregir la aparición de becerros débiles debido a pesos muy bajos al nacer.

PALABRAS CLAVE: heredabilidad, efectos maternos, Cebú.

ABSTRACT. 1,387 records of birth weight were analyzed (BW) of Guzerat cattle were analyzed, registered from 2012 to 2022, belonging to the CA Old Mother Livestock Genetic Center, located in Papelón, Portuguese state. To estimate heritability (h^2) for PN, 3 different statistical models were used, using the REML method to calculate the variance components and heritability. To know the effect of the fixed factors (sex and year of birth), an F test and the P value criterion were used, where P values < 0.05 (5%) indicate significant differences between the levels of a factor. To calculate the descriptive statistics, the SAS program was used and the variation components of the first model were used, and Wombat was used for the remaining models. Direct (h^2) and maternal (m^2) heritability for PN were low ($h^2 < 0.25$) for the 3 models (only m^2 was measured in the third model), indicating that the differences observed in PN are only attributed to additive effects. and maternal to a lesser extent. Due to the low heritability for PN, genetic selection to improve this trait is expected to cause a late effect on trait improvement in the population. Although the heritability is low for PN, it is recommended to take these results into consideration, with the objective of avoiding dystocic births caused by the birth of very heavy calves and also correcting the appearance of weak calves due to very low birth weights.

KEYWORDS: heritability, maternal effects, Cebu.



INTRODUCCIÓN

La raza bovina Guzerat es originaria de la región de Gujarat, India, donde ha sido criada desde hace siglos por su adaptabilidad a las condiciones climáticas extremas de la zona y por su resistencia a enfermedades tropicales. La Guzerat llegó a América Latina en el siglo XIX, importada principalmente a Brasil y a México. En Brasil, la raza tuvo una gran difusión gracias a su resistencia a las altas temperaturas y a la producción de carne y leche de alta calidad (González, 2017).

Uno de los factores que ha permitido obtener una mayor eficiencia en la producción de carne y leche, en los países desarrollados, ha sido la utilización de los registros y el análisis de los datos, relacionados con los caracteres productivos de los hatos, esto ha permitido, el diseño y la puesta en marcha de programas de mejoramiento genético, de los cuales se seleccionan para producción y cría, los mejores animales. El propósito de un programa de mejoramiento genético es el elegir los mejores individuos (animales) de una raza, en una región o país, para luego ser utilizados como reproductores, debido a sus sobresalientes características fenotípicas y genéticas. Para cumplir con este propósito, el ganadero debe identificar genéticamente estos animales, a través del análisis de sus registros (Herrera et al, 2002).

La estimación de los parámetros genéticos constituye una herramienta para lograr un diseño más eficiente en la evaluación genética de los rebaños y se convierte en una estrategia para una mejor utilización de la variación en la mejora genética. Tanto los efectos aditivos, así como, los no aditivos, para los pesos en animales jóvenes son importantes para precisar esa variabilidad en los caracteres de crecimiento en el bovino y utilizar esa información en la mejora del rebaño (Aranguren *et al*, 2006).

Entre los caracteres de interés zootécnico, el peso al nacer (PN), tiene un impacto importante dentro de los sistemas de producción vacunos, debido a animales con bajo PN mueren más en las primares etapas de vida (especialmente en el primer mes de vida) y si los pesos son muy altos, pueden ocasionar partos distócicos, por lo tanto, la evaluación de este carácter resulta muy importante (Rodríguez *et al*, 2009).

Las evaluaciones genéticas del ganado Cebú (*Bos indicus*) en Venezuela se realizan a nivel nacional, para la raza Brahman, por la asociación venezolana de criadores del ganado Cebú (ASOCEBU), pero para la raza Guzerat, evaluaciones genéticas todavía no se reportan, por lo tanto, el motivo de esta investigación es realizar la evaluación genética para el peso al nacer en ganado Guzerat, con el objetivo, de poder mejorar el proceso de selección de reproductores de la raza para PN.

MATERIALES Y MÉTODOS

De la base de datos del Gansoft (programa de registros ganaderos), se analizaron 1387 registros de peso al nacer (PN) de vacunos Guzerat, donde se registraban 79 toros y 663 vacas desde el año 2012 hasta el 2022, pertenecientes al centro genético ganadería Madre vieja CA, ubicado en Papelón estado Portuguesa, el cual presenta unas condiciones agroecológicas de bosque seco



tropical, altitud de 110 m. s. n. m, temperatura promedio de 27°C y una precipitación media anual de 1423 mm.

Los animales fueron pesados en sus primeras 24 horas de vida (después del nacimiento) respectivamente, y la medida fue tomada en kilogramos (Kg).

Análisis estadístico

Se utilizaron 3 modelos estadísticos diferentes para calcular la heredabilidad, y en los 3 modelos se ajustaron los efectos fijos de sexo de la cría y año de nacimiento.

El primer modelo usado fue un modelo toro, el cual tiene la siguiente estructura en algebra matricial:

$$y = Xb + Zs + e$$

Donde y es un vector para los datos de PN, X es una matriz de incidencia que relaciona los datos con los efectos fijos (sexo y año de nacimiento), b es un vector de parámetros desconocidos para los efectos fijos, Z es una matriz de incidencia que relaciona los datos con los efectos aleatorios, s es un vector de predicciones desconocidas para cada toro y e es un vector de residuales.

La estructura de covarianza del modelo anterior es:

$$VAR \begin{bmatrix} s \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I\sigma_s^2 & 0 \\ 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Donde I es una matriz identidad, σ_s^2 es la varianza entre toros y σ_e^2 es la varianza residual. Debido a que la varianza σ_s^2 es un cuarto de la varianza aditiva (σ_a^2), la heredabilidad para este modelo puede calcularse como (Pérez y Montiel, 2023):

$$h^2 = \frac{4\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_e^2}$$

Donde h^2 es la heredabilidad para PN.

Para calcular la varianza aditiva en este modelo, se utilizó la siguiente fórmula matemática (Pérez y Montiel, 2023):

$$\sigma_a^2 = 4\sigma_s^2$$

Y para calcular la varianza ambiental, se utilizó la diferencia entre σ_p^2 y σ_a^2 (Román et al, 2023):

$$\sigma_{em}^2 = \sigma_p^2 - \sigma_a^2$$

Donde σ_{em}^2 es la varianza ambiental y σ_p^2 es la varianza fenotípica, la cual puede calcularse como:

$$\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_{em}^2 = \sigma_s^2 + \sigma_e^2$$

El segundo modelo ajustado fue un modelo animal simple, el cual tiene la siguiente estructura en algebra matricial:



$$y = Xb + Za + e$$

Donde a es un vector de predicciones para cada animal.

La estructura de covarianza del modelo anterior es la siguiente:

$$VAR \begin{bmatrix} a \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 \\ 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G & 0 \\ 0 & R \end{bmatrix}$$

Donde σ_a^2 es la varianza aditiva, A es la matriz de parentesco, G es una matriz de varianzas y covarianzas genéticas y R es una matriz de residuales. Para la estructura de la matriz A , se utilizó la información genealógica de 2 generaciones.

En este modelo, la varianza σ_a^2 puede ser calculada directamente, por lo tanto, la heredabilidad puede ser calculada como (Román et al, 2023):

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2} = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}$$

Por último, se ajustó un modelo animal que tiene en cuenta la varianza materna, el cual, tiene la siguiente estructura en algebra de matrices:

$$y = Xb + Za + Mm + e$$

Donde M es una matriz de incidencia que relaciona los datos con las vacas (madres) y m es un vector de predicciones desconocidas para el efecto materno.

La estructura de covarianza del modelo anterior es la siguiente:

$$VAR \begin{bmatrix} a \\ m \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A\sigma_a^2 & 0 & 0 \\ 0 & A\sigma_m^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Donde σ_m^2 es la varianza materna.

Para este modelo se estimó la heredabilidad directa usando la misma fórmula usada en el modelo anterior, sin embargo, la heredabilidad materna se calculó usando la siguiente formula (Aranguren et al, 2006):

$$m^2 = \frac{\sigma_m^2}{\sigma_p^2}$$

Para estimar los componentes de varianza en los 3 modelos, se utilizó el método de máxima verosimilitud restringida (REML) (Patterson y Thompson, 1971). Para maximizar la función de verosimilitud en el primer modelo, se utilizó el algoritmo de NEWTON RAPSON y en los modelos restantes el algoritmo libre de derivadas SIMPLEX (especificado con la opción `-simplex` del `wombat`).

Para comparar los modelos estadísticos se utilizó el criterio de información de Akaike, el cual indica que modelo tiene mejor ajuste a medida que el valor calculado sea menor. Para calcular el criterio de información de Akaike, se usó la siguiente fórmula matemática:



$$AIC = 2k - 2\ln(L)$$

Donde AIC es el criterio de información de Akaike, k es el número de parámetros del modelo y $\ln(L)$ es el logaritmo natural de la función de verosimilitud restringida.

Para conocer el efecto de los factores fijos, se utilizó una prueba F y el criterio del valor P, donde valores de $P < 0.05$ (5%) indican diferencias significativas entre los niveles de un factor. Para calcular las pruebas F, se utilizó la siguiente fórmula matemática (Castejón, 2008):

$$F = \frac{CM_{factor}}{CM_e}$$

Donde F es la prueba F de Fisher, CM_{factor} es el cuadrado medio del factor evaluado y CM_e es el cuadrado medio residual o del error.

Programas utilizados

Para realizar los cálculos estadísticos, se utilizó el sistema de análisis estadístico SAS versión 9.1. (2004), 200 y el WOMBAT (Meyer, 2007). Para calcular las estadísticas descriptivas se utilizó el PROC UNIVARIATE del SAS, para calcular los componentes de varianza y la heredabilidad del modelo toro se utilizó el PROC MIXED del SAS y por último para estimar los componentes de varianza y la heredabilidad en los modelos restantes se utilizó el WOMBAT.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 1 se presentan las estadísticas descriptivas generales para PN:

Tabla 1

Estadísticas descriptivas para peso al nacer.

Variable	Medida	Valor
PN	Media	37.70
	DE	4.93
	CV	13.09%
	EE	0.13

DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación, EE: error estándar

Para PN se encontró una media de 37.7 ± 4.93 kg con un CV de 13.09% lo cual indica, que los datos son muy homogéneos con respecto de la media. El EE resultado muy pequeño (0.13) con lo cual, se puede afirmar que las medias están bien estimadas. Los resultados encontrados en el presente estudio son superiores a los encontrados por Martínez y col (2009) donde reportan un PN de 30.7 kg en ganado Guzerat.

En la Tabla 2 se presentan las estadísticas descriptivas para PN para cada nivel del factor sexo:

Tabla 2

Estadísticas descriptivas para cada nivel del factor sexo.

Factor sexo (PN)	Media	DE	CV
Hembra	35.46	4.75	13.39%
Macho	38.42	4.77	12.41%



Para los niveles del factor sexo, se puede notar que en promedio los machos (38.42 ± 4.77) son más pesados que las hembras (35.46 ± 4.75) para el PN, lo que sugiere, que este factor debe ser tomado como fijo, para eliminar su efecto al momento de la evaluación genética. En ambos niveles del factor sexo el CV es menor al 20%, (13.39% para las hembras y 12.41% para los machos) lo cual indica, que existe poca heterogeneidad dentro de los niveles del factor sexo, por lo tanto, los pesos dentro de cada nivel del factor no difieren grandemente.

En la Tabla 3 se presentan las estadísticas descriptivas para PN desde el año 2012 hasta el 2022:

Tabla 3

Estadísticas descriptivas de PN desde el año 2012 hasta el 2022.

Año	PN	CV
	Medida \pm DE	
2012	39.76 ± 1.92	4.82%
2013	36.64 ± 4.04	11.02%
2014	38.12 ± 2.87	7.52%
2015	37.67 ± 4.53	12.02%
2016	38.44 ± 3.22	8.37%
2017	38.11 ± 5.81	15.24%
2018	39.40 ± 6.26	15.88%
2019	39.51 ± 5.56	14.07%
2020	36.92 ± 4.75	12.86%
2021	34.92 ± 5.14	14.71%
2022	36.14 ± 4.04	11.17%

Para el factor año de nacimiento, se puede notar una variación en las medias en los diferentes años, lo que sugiere que este factor debe ser introducido como fijo, con el objetivo, de eliminar su efecto en las estimaciones de los factores aleatorios del modelo. Esto puede deberse, a las condiciones particulares de cada año que pudieron afectar a los animales de formas diferentes. Cabe resaltar que, dentro de cada año, la DE de cada media es baja, lo que indica una baja heterogeneidad de los datos dentro de cada nivel del factor año, debido a la poca variabilidad de los pesos dentro de cada año particular, pero difiriendo entre los años de estudio. En 2009, Rodríguez et al, afirmaron que existía un efecto estadísticamente significativo del año de nacimiento sobre el peso al nacer, lo que sugiere, que las medias para el peso al nacer deberían variar en diferentes años.

La heredabilidad materna resulto extremadamente baja (0.03), lo que indica, que las diferencias observadas en el PD son influenciadas por la varianza materna en muy baja proporción, este valor es similar al reportado por Aranguren *et al.* (2006), donde reportan un m^2 de 0.04 para PN en ganado vacuno (doble propósito).

En la Tabla 4 se presentan en los AIC para los 3 modelos:



Tabla 4
AIC para los modelos lineales.

Modelo	AIC
Modelo toro	8126.6
Modelo animal simple	-2800.654
Modelo animal Con efectos maternos	-2801.051

Los dos modelos en donde se incluyó la matriz de parentesco tuvieron mucho mejor ajuste, que el modelo toro sin relaciones, debido a que su AIC fue menor, por otro lado, el ajuste del modelo animal simple y el modelo animal con efectos maternos presentan un ajuste similar.

En la Tabla 5 se presentan los componentes de varianza y la heredabilidad para PN:

Tabla 5
Componentes de varianza y heredabilidad para PN.

Modelo	Variable	Estimador	Valores
Modelo toro	PN	σ_s^2	0.919
		σ_e^2	20.323
		σ_a^2	3.676
		σ_{em}^2	17.566
		σ_p^2	21.242
		h^2	0.173
Modelo animal simple	PN	σ_a^2	5.053
		σ_e^2	16.342
		σ_p^2	21.396
		h^2	0.236
Modelo animal Con efectos maternos	PN	σ_a^2	3.818
		σ_m^2	0.797
		σ_e^2	16.625
		σ_p^2	21.24
		h^2	0.179
		m^2	0.037

La heredabilidad para PN en los 3 modelos resulto baja lo que indica que las diferencias observadas en el PN solo son atribuidas a efectos aditivos en menor proporción. Estos resultados son parecidos a los encontrados por Martínez y col (Martínez et al, 2009) donde reportan en ganado Guzerat una heredabilidad para PN de 0.23, aunque un poco mayor a las encontradas en esta investigación (con excepción del modelo animal simple), sigue siendo del rango de una heredabilidad baja. Cabe destacar que, en el trabajo de Martínez y col, el modelo lineal mixto tuvo otros efectos fijos, como la edad de la madre vista como una covariable lineal y cuadrática.

En la Tabla 6 se presenta la prueba F con sus respectivos valores P para los factores fijos del modelo:

**Tabla 6***Prueba F y valores P para los efectos fijos del modelo.*

Variable	Factor	F	P-values
PN	Sexo	61.16	0.0001
	Año de nacimiento	8.01	0.0001

Para PN los efectos de sexo y año de nacimiento fueron estadísticamente significativos ($P < 0.05$), por lo tanto, se puede afirmar que estos factores causan variabilidad en los pesos de los animales, por lo tanto, su introducción en el modelo fue acertada, debido a que se eliminó su efecto en la evaluación. Estos resultados coinciden a los reportados por Pacheco y col (2013), donde reportan efectos estadísticamente significativos de sexo del animal y año de nacimiento en el PN en ganado vacuno. Estos resultados son esperados, ya que la variación que existe en las condiciones agroecológicas entre años afecta las condiciones de las hembras gestantes y por lo tanto, el peso al nacer de las crías. En cuanto al sexo, en ganado vacuno, los machos suelen ser más pesados que las hembras al nacimiento.

CONCLUSIONES

Debido a la baja heredabilidad para PN, se espera que la selección genética para mejorar esta característica cause un efecto tardío en la mejora del carácter en la población. Aunque la heredabilidad es baja para PN se recomienda aplicar selección genética, con el objetivo, de poder evitar partos distócicos causados por el nacimiento de becerros muy pesados y también corregir la aparición de becerros débiles debido a pesos muy bajos al nacer.

Para los factores fijos del modelo tanto el sexo del animal como el año de nacimiento fueron estadísticamente significativos, por lo tanto, se recomienda su introducción en modelos mixtos que estudien estas características.

Por otra parte, los mejores modelos fueron los que incluyeron la matriz de parentesco, por lo tanto, se recomienda su utilización en modelos lineales de evaluación genética.

AGRADECIMIENTO

Se le agradece a la ganadería Madre Vieja por permitir usar sus registros para realizar esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranguren, J., Román, R., Villasmil, Y., Chirinos Z., Romero J. y Soto, E. (2006). Componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para características de crecimiento en animales mestizos de doble propósito. *Revista Científica*, 16(1), 55-61.

Castejón, O. (2008) *Diseño y análisis de experimentos*. Edi 1. Maracaibo. Venezuela. Universidad del Zulia.



- González K. (2017). Zootecnia y veterinaria es mi pasión. Obtenido de <https://zoovetempasion.com/ganaderia/razas-bovina/la-raza-de-ganado-guzera>.
- Herrera J, León Fe, Ossa G, Manrique C. y Fajardo O. (2002). La prueba de progenie en Bovinos: una realidad en Colombia. AGROSAVIA.
- Martínez J, Lucero F, Castillo S. y Ortega E. (2009). Estimación de algunos parámetros genéticos de crecimiento en la raza Guzerat en México. *Zootecnia Tropical*, 27(1), 049-056.
- Meyer K. (2007). WOMBAT: a tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). *Journal of Zhejiang University science*8(11):815-821.
- Pacheco F, Depablos, L, Martínez G. y Vargas D. (2013). Factores no Genéticos y de Grupo Racial que Afectan el Peso al Nacer en un Sistema de Producción con Vacunos de Carne. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 54(1), 35-46.
- Patterson H., & Thompson R. (1971). "Recovery of Inter-Block Information When Block Sizes are Unequal," *Biometrika*, 58, 545-554.
- Pérez J. y Montiel N. (2023). Heredabilidad del índice IBMI de búfalos italianos utilizados en inseminación artificial. *Rev Cientif FCV-LUZ* 33(suplemento), 205-207.
- Rodríguez Y., Martínez G. y Galíndez R. (2009). Factores no genéticos que afectan el peso al nacer en vacunos Brahman registrados. *Zootecnia Tropical*, 27(2), 163-173.
- Román R., Aranguren J., Garcidueñas R., Gómez B, Nicanor A., Carrera E. y Soto E. (2023). Asociación entre características reproductivas y producción de leche, en novillas mestizas. *Revista ESPAMCIENCIA*. 14(2): 63-70.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). User's guide Statistics. Version 9.1 Cary, NC. 2004.



VARIANZA GENÉTICA ADITIVA Y DE DOMINANCIA EN PRODUCCIÓN DE LECHE EN ANIMALES HOLSTEIN PUROS Y CRUZADOS CON BROWN SWISS

ADDITIVE AND DOMINANCE GENETIC VARIANCE IN MILK PRODUCTION IN PUREBRED HOLSTEIN CATTLE AND CROSSBRED WITH BROWN SWISS

*Menéndez-Buxadera, Alberto. U Investigador Independiente, Estados Unidos.

contact@ambuxadera.com

<https://orcid.org/0000-0002-0408-4200>

Aguilar Bravo, Herbert M. Universidad Católica de Santa María: Arequipa, Perú.

haguilar@ucsm.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-2161-5560>

Guerra, Reggie. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.

reggie.guerra@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8471-2862>

*Autor de Correspondencia: rguerram09@gmail.com

Recibido: 27/02/2024

Aceptado: 20/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5173>

RESUMEN. Los resultados de 84222 registros de producción periódica conocido como Test Day (TD) pertenecientes a 1390 vacas hijas de 72 sementales Holstein (**Ho**) y sus cruces con Brown Swiss (**Bs**) (proporción entre 50 y 100% de **Ho**) con la restricción de que cada semental tuviese al menos dos progenies y 10 TD tanto en raza pura como en cada uno de al menos dos cruzamientos. Se aplicó un modelo multiracial de regresión aleatoria (**RAMR**) de orden dos para estimar la evolución de los componentes de (co)varianza, y parámetros genéticos de los TD a lo largo de la lactancia. Los resultados de heredabilidad fueron 0.12 a 0.25 en los diferentes cruces en la trayectoria de la lactancia mientras que las correlaciones genéticas fueron positivas entre animales puros y cruzados pero diferentes de la unidad. Con la solución de este modelo se estimaron los valores genéticos (**VG**) de cada animal los cuales se expresaron como desviación (**dVG**) del **VG** del **Ho** puro, a partir de **dVG** y los correspondientes coeficientes de aditividad (**adi**) y dominancia (**dom**) se creó sistema de ecuaciones cuya solución proporcionó los **VGadi** y **VGdom** para cada animal. Este enfoque puede tener aplicación en los programas de mejora donde existen animales de diferentes proporciones de genes de razas parentales, ya que permitiría explotar la habilidad combinatoria general y específica de las mismas. El pequeño tamaño de la muestra disponible impide una generalización de esta alternativa, de manera que se sugiere otros estudios que corroboren el procedimiento aplicado.

PALABRAS CLAVE: cruzamientos, producción de leche, valor genético aditivo, dominancia.

ABSTRACT. The results of 84222 records of Test Day (TD) belonging to 1390 daughter of 72 Holstein (Ho) sires and their crosses with Brown Swiss (Bs) (proportion between 50 and 100% of Ho) restricted to those Ho sires with at least 2 progeny and 10 TD both in pure breed and in each of at least two crosses. A quadratic multiracial random regression model (RAMR) was applied to estimate the evolution of the (co)variance components, and genetic parameters of TD along the lactation. Heritability (h^2) results were $h^2 \approx 0.12$ to 0.25 in the different crosses in the lactation trajectory, while genetic correlations were positive between pure and crossbred animals, but different from unity. With the solution of this model, the breeding values (BV) of each animal were estimated, which were expressed as deviation (dVG) from the BV of pure Ho, with dVG and the corresponding coefficients of additivity (adi) and dominance (dom) a system of equations was created whose solution provided the BVadi and BVdom for each animal. This will be useful in breeding programs where there are animals of different proportions of genes from parental breeds, since it would allow the general and specific combinatorial ability of these breeds to be exploited. The small size of the available data sets precludes a generalization of this alternative, it's suggested other studies to corroborate the procedure applied.

KEYWORDS: Holstein Brown Swiss crossbreeding, milk production, additive and dominance genetic value.



INTRODUCCIÓN

En Panamá se ha manifestado una estimulante tendencia en el consumo de leche la cual es del orden de 120 litros por persona, prácticamente dos veces superior a lo logrado 15 años previos, no obstante, esto se debe a que más del 50% es de origen de importación (Vega , 2022). Para atenuar este problema las autoridades están impulsando programas de mejora con características particulares ya que se trata de distribución de machos de razas lecheras a pequeños criadores de diferentes regiones, para incentivar la producción según el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (2021), no obstante, el alcance de tal estrategia estará limitado, si no forma parte de un sistema general que tome en cuenta todos los factores limitantes de la ganadería de Panamá señalado por Guevara (2012). Este último autor indicó que la ganadería del país presenta dos grandes problemas: uno de carácter estructural y otro más complejo debido a la ausencia de un sistema general de controles productivos centralizado y de un programa de mejora genética bien estructurado. Sobre el primero se han obtenido favorables resultados que ha provocado un aumento del 8% en la producción de leche (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, 2021), sin embargo, el segundo problema aún persiste las limitantes según las más recientes evidencias publicadas en la región de Chiriquí (Pitty, 2023), que indican que aun cuando existe una importante variabilidad genética en producción de leche y rasgos reproductivos, estos resultados se refieren a los datos de solo un rebaño, de manera que su generalización es limitada.

La provincia de Chiriquí es la mayor cuenca lechera del país con condiciones climáticas más favorables para explotar razas más especializadas, las evidencias más recientes indican que tanto la Holstein (**Ho**) como sus cruces con Brown Swiss (**Bs**) manifiestan un buen comportamiento y que existen posibilidades de llevar a cabo un programa de selección (Guerra et al., 2020). Estas publicaciones también están referidas a pocos rebaños, no obstante, las bases de datos disponibles existen animales con diferentes cruces entre estas razas, mantenidos en las mismas condiciones lo cual conforma un material con muy buena estructura, ideal para examinar una temática muy compleja de la evaluación genética en animales de raza pura y cruzamiento, donde siempre hay incógnitas que requieren nuevas respuestas.

Aun cuando hay muchas evidencias disponibles sobre los éxitos de los programas de cruzamiento en diferentes tipos de animales de interés económico, existe una interrogante pendiente sobre el nivel de la correlación entre el valor genético (**VG**) de los animales puros y cruces (r_{pc}), que es significativamente diferentes a la unidad en una gran cantidad de caracteres de interés económico (Vitezica et al., 2016). Esta temática ha recibido mucha atención en aves (Duenk et al., 2019), porcino (Wientjes et al., 2017) y animales de carne (Quaas & Zhang, 2006). Este interés es muy adecuado para los sistemas de producción de estas especies que tienen un amplio uso de programas de cruzamiento terminal, de manera que estimar r_{pc} y en función de su magnitud incorporar la información de animales cruzados para aumentar la precisión de los **VG** y comparar estrategias de selección. En el caso del ganado lechero en el trópico, este enfoque es riesgoso, ya que asume que los componentes de (co)varianza son iguales en diferentes proporciones de genes de los grupos raciales incluidos y que los posibles efectos de interacción genotipo-ambiente no resultan importante, lo cual por definición puede sesgar los estimados del **VG**.

La estimación del valor genético multirracial (**VGMR**) basado en modelos lineales pueden estimar la importancia de los efectos genéticos aditivo, de heterosis y pérdidas por recombinación génica.



Las bases de este procedimiento fueron presentadas por Arnold et al., (1992) & Lo et al., (1997), aunque más recientemente Garcia et al., (2006); Zumbach et al., (2008) han presentado una generalización que consideramos se puede ajustar a la situación actual de las bases de datos disponibles en condiciones comerciales. El principio de estos enfoques es estimar las constantes mínimo cuadrática (*lsm*) de varios caracteres de interés económico para diferentes tipos de animales cruzados, mantenidos en las mismas condiciones ambientales, las cuales son una manifestación del efecto genético total del animal (aditividad, heterosis y pérdidas por recombinación génica), ya que por definición tales *lsm* están libre de cualquier efecto ambiental. En estos casos se siguen los principios establecidos por Dickerson (1969) mediante el cálculo del nivel de Heterocigosis en el animal que produce el registro, que se define como la proporción de genes presentes cuyo origen es de diferentes razas. De esta forma se estiman los coeficientes de cruzamientos (*coef*) los que a posteriori se emplean como covariables en un modelo de regresión. El trabajo de Robison, McDaniel & Rincón (1981), así como el de Ahlborn-Greier & Hohenboken (1991) proporcionan ejemplos detallados de este procedimiento con estimaciones de los componentes genéticos de aditividad y heterosis en el cruce de dos razas lecheras. Otro método simple pero eficaz fue aplicado por Boichard et al., (1993) a datos poblacionales de diferentes grados de cruzamiento de ganado Holstein origen de Estados Unidos y Francia que se basa en un expresar los *lsm* (en tal caso referidos a los Valores Genéticos de los sementales) como función de los correspondientes *coef* de sus progenies y resolver el sistema de ecuaciones.

El objetivo de este artículo es aplicar el mismo punto de vista de este último autor y estimar los componentes de (co)varianza para efectos genéticos aditivos y de dominancia sobre la producción de leche de animales Ho y sus cruces con Bs, así como las relaciones entre el valor genético estimado en animales puros y cruzados de ambas razas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este análisis se emplearon los datos de producción de leche de los animales Ho y sus cruces con Bs, descritos y depurados previamente por Guerra et al., (2020). De este conjunto se seleccionaron 84222 registros de producción periódica conocido como Test Day (TD) pertenecientes a 1390 vacas hijas de 72 sementales Ho con el requisito que tuvieran al menos dos progenies y 10 TD tanto en raza pura como en cada uno de al menos dos cruzamientos y cuyo balance general se presenta en la tabla 1. Los datos empleados aun cuando no son muy numerosos, los cuatro genotipos analizados están relativamente bien distribuidos, aunque la mayor proporción de observaciones pertenecen a Ho cuyos sementales están representados en todos diferentes los cruzamientos, elemento que debe resaltarse porque conforma la conexión entre todos los animales. El pedigree contenía un total de 1491 animales básicamente relacionados por la vía padre de las vacas.

Tabla 1

*Distribución de los datos de progenies y número de controles por genotipo**

Genotipos**	Genotipos**			
	50Ho50Bs	75Ho25Bs	87.5Ho12.5Bs	100Ho0Bs
50Ho50Bs f ₁	20	10	14	20



75Ho25Bs	f ₂	45	13	33
87.5Ho12.5Bs	f ₃		44	45
100Ho0Bs	f ₄			72
Numero vacas	73	72	78	1064
Numero de TD	3543	4255	4812	71612

*en la diagonal el número de sementales Holstein para cada genotipo y encima los comunes.

** por razones de facilidad se abreviarán como f1; f2; f3 y f4.

Los cuatro genotipos manifiestan una escala de proporción de genes Ho que varía entre 50 al 100 por ciento, de manera que los datos de la tabla 1 no son directamente comparables en términos absolutos ya que son manifestaciones de las proporciones de genes presentes en cada animal cuyos efectos se asumen pueden ser genéticos aditivos (*p*) y de heterosis (*h*) cuyos coeficientes (tabla 2) se estimaron según la estrategia de Ahlborn et al., (1991).

Tabla 2

Coefficientes genéticos de los genotipos representados.

Genotipo	Aditividad* ($p_s^{Ho} - p_s^{Bs}$)	Heterosis* $1-(p_s^{Ho} * p_s^{Bs})$
50Ho50Bs	(0.5-0.5) = 0	$1-(1*0) = 1.0$
75Ho25Bs	(0.75-0.25) = 0.5	$1-(1*0.25) = 0.75$
87.5Ho12.5Bs	(0.875-0.125) = 0.75	$1-(1*0.75) = 0.25$
100Ho0Bs	(1-0) = 1.0	$1-(1*1) = 0.0$

*los coeficientes de aditividad y heterosis se estima según la proporción de la raza Ho y Bs en el individuo y se expresa como desviación del Ho.

Dada la naturaleza de los datos disponibles el análisis estadístico se realizó por etapas. Inicialmente, se aplicó un modelo multirracial de regresión aleatoria, el cual sirvió para conocer las posibles variaciones de los TD a lo largo de una escala de la lactancia, cuyas primeras evidencias ya se habían indicado para estos cruces (Guerra et al., 2020) que indicaban la existencia de heterogeneidad en la forma de la curva de lactancia, de manera que lo más prudente es estimar los componentes de (co)varianza genética entre los diferentes cruzamientos representados y posteriormente profundizar en importancia de la aditividad y heterosis eliminando esos posibles sesgos.

Para estos propósitos se aplicó un modelo animal multi racial de regresión aleatoria (RAMR) aplicando Asreml 4.2 (Gilmour et al., 2021), asumiendo los resultados de cada genotipo como diferentes caracteres, la formulación fue la siguiente:

$$Y = X\beta + \sum_{r=0}^3 \Phi_r + \sum_{r=0}^2 \Phi_r K_g \mu_a + W_{p_1}^i + E_{e_1}^i$$

donde

Y_{jk}^i representa la jk^{th} observación del a^{th} animal para cada i^{th} genotipo representados, en este caso $f_1 = 50Ho50Bs$; $f_2 = 75Ho25Bs$; $f_3=87.5Ho12.5Bs$ y $f_4=100Ho0Bs$

β_i representa los efectos fijos del número de lactancia (1,2...4 clases) y los grupos contemporáneos del rebaño-año y mes de control de TD (264 niveles), así como un efecto fijo de polinomio



Legendre (Φ) de orden $r = 3$ ($\sum_{r=0}^3 \Phi_r$) para estimar la curva de lactancia de la población la cual fue expresada en valores de cada decena ($dimd = 1, 2, 3 \dots 30$).

a_i es el efecto aleatorio del animal con datos y sus antecesores sin información, que fue modelado mediante un polinomio de Legendre de orden $r=2$ ($\sum_{r=0}^2 \Phi_r K_g \mu_a$) de la desviación de TD de cada animal respecto a la curva de la población.

p_i es un efecto aleatorio de ambiente permanente no correlacionado debido a repeticiones del mismo rasgo en el animal, con dos niveles (cruzados y puros).

$R_{e_i}^i$ es un efecto residual aleatorio heterogéneo con dos niveles (cruces y puros).

X^i , K_g , W^i y E^i son matrices de incidencia que relacionan los efectos fijos y aleatorios con el vector de datos.

En este modelo los componentes de (co)varianzas esperadas son:

$$V \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = A \otimes K_g = \Phi_i \begin{bmatrix} K_{f_1} & K_{12} & K_{13} & K_{f_{14}} \\ K_{21} & K_{f_2} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{f_3} & K_{34} \\ K_{f_{41}} & K_{f_{42}} & K_{f_{43}} & K_{f_4} \end{bmatrix} \Phi_i' + I_p \begin{bmatrix} \sigma_{g_1}^2 \\ \sigma_{g_2}^2 \end{bmatrix} + E_i \begin{bmatrix} \sigma_{r_1}^2 \\ \sigma_{r_2}^2 \end{bmatrix}$$

En el cual A es el denominador de la matriz de parentesco, K_g se utilizó para simbolizar una compleja matriz simétrica de 12×12 compuesta por cuatro sub matrices que contienen los elementos propios de una ecuación de regresión aleatoria de orden $r=2$ para cada genotipo en la diagonal y entre genotipos fuera de la diagonal. Los resultados de esta K_g proporcionan los componentes de (co)varianza genéticos del intercepto, la pendiente y el termino cuadrático con varianzas $\sigma_{a_o}^2$, $\sigma_{a_s}^2$ y $\sigma_{a_q}^2$ y sus respectivas covarianzas $\sigma_{p_{a_{so}}}$; $\sigma_{p_{sq}}$ y $\sigma_{a_{oq}}$ tanto intra como entre cada uno de los cuatro genotipos representados en la base de datos. Φ_i son los coeficientes del polinomio de Legendre de orden $r=2$ necesario para estimar los componentes de (co)varianza para los TD a lo largo de la lactancia. I_p es una matriz unitaria para los efectos aleatorios no correlacionados de ambiente permanente en animales cruzados y puros con varianzas $\sigma_{g_1}^2$ y $\sigma_{g_2}^2$ respectivamente. Finalmente, en el modelo se incluye varianza residual heterogénea ($\sigma_{r_1}^2$ y $\sigma_{r_2}^2$) para los registros de animales cruzados y puros.

La estimación de los componentes de (co)varianza a lo largo de la trayectoria de i^{th} $dimd$ se lleva a cabo mediante un procedimiento propuesto por Jamrozik et al. (1997).

$\sigma_{a_i}^2 = \Phi_i K_g \Phi_i'$ para las varianzas genéticas para cada genotipo a lo largo de $dimd$.

$\sigma_{a_{ij}} = \Phi_i K_g \Phi_j'$ para las (co)varianzas genéticas entre cada uno de los genotipos para cada punto de $dimd$.

A partir de estos indicadores y aplicando formulas clásicas se estiman la heredabilidad (h^2) y correlaciones genéticas (r_g) de cada TD a lo largo de la trayectoria de los i^{th} $dimd$ tanto intra como entre genotipos que están contenidos en los coeficientes del polinomio Φ_i tomando en consideración la varianza de ambiente permanente y residual correspondiente.



$$h_i^2 = \frac{\Phi_i K_p \Phi_i'}{\Phi_i K_g \Phi_i' + \sigma_{g_i}^2 + \sigma_{e_i}^2} \text{ y } r_{gij} = \frac{\Phi_i K_p \Phi_i'}{\sqrt{\Phi_i K_g \Phi_i' * \Phi_j K_g \Phi_j'}}$$

Con este procedimiento se estiman los componentes de (co)varianza y los parámetros genéticos indicados, al mismo tiempo con la solución de este modelo se estiman la función genética $f_{a_i} = [a_0 \text{ a}_s \text{ a}_q]$ para cada animal las cuales se pueden combinar con los elementos individuales de Φ_i que en este ejemplo solo interesa la correspondiente suma para estimar VGa_i para producción de leche acumulada a 300 días de lactancia:

$$VGa_i = 10 * \sum_{i=1}^{30} \Phi_i f_{a_i}$$

El VGa_i representa el mérito genético total de cada animal y su magnitud refleja la acumulación de efectos debidas a la proporción genética de aditividad y de dominancia que está presente en cada animal según se mostró en la tabla 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Solo a título informativo general los indicadores de la producción de leche diaria y total acumulada a 300 días de lactancia se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Resultados productivos de animales Holstein y cruzados con B. Swiss de la muestra estudiada, expresados como desviación de la Holstein.

	Producción diaria kg	Producción acumulada kg
50Ho50Bs	-1.114	-345
75Ho25Bs	-0.702	-220
87.5Ho12.5Bs	-0.239	-75
100Ho0Bs	0	0

En la muestra estudiada el comportamiento de los genotipos representados fue superiores a los publicados en Costa Rica (Vargas et al., 2010), no se considera necesario más detalles pues no es el objetivo del artículo. La respuesta de ambos indicadores es negativa, de manera que, en la base de datos empleada, los cruzamientos con Bs no superan al Ho puro.

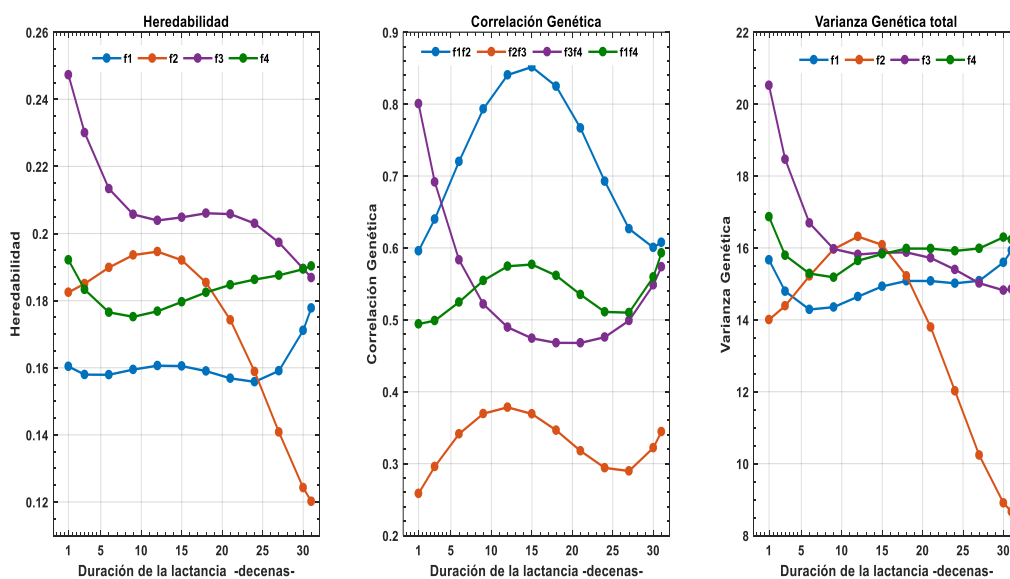
El modelo RAMR de orden $r=2$ fue el de mejor ajuste a los datos y los estimados de h^2 y r_g de los TD en cada dimd y genotipo se presenta en la Figura 1. Los resultados del modelo RAMR evidencian dos aspectos importantes: por un lado, se manifiesta heterogeneidad en los componentes de (co)varianza no solo a lo largo de la lactancia sino también que esta tendencia no es la misma entre los genotipos representados, dado que los respectivos *coef* no son iguales. Esta respuesta encontrada, aun cuando la muestra estudiada es reducida, es similar a la presentado por Vanderick et al. (2009) para animales lecheros Holstein, Jersey y sus cruces en Nueva Zelanda y Ribeiro et al. (2019) en cruces entre Holstein y Gyr en Brasil. Al mismo tiempo, estos resultados



indican que las correlaciones entre animales puros y cruzados (r_{pc}) es diferente a la unidad, por tanto, el significado del VG_{a_i} no representa exactamente el mismo valor esperado en los diferentes cruzamientos, en correspondencia con las publicaciones de Karoui et al. (2012) y Pereira et al. (2017).

Figura 1

Parámetros genéticos para los cuatro genotipos, estimado por un modelo de regresión multicarácter y un polinomio de Legendre de orden 2 a lo largo de la lactancia.

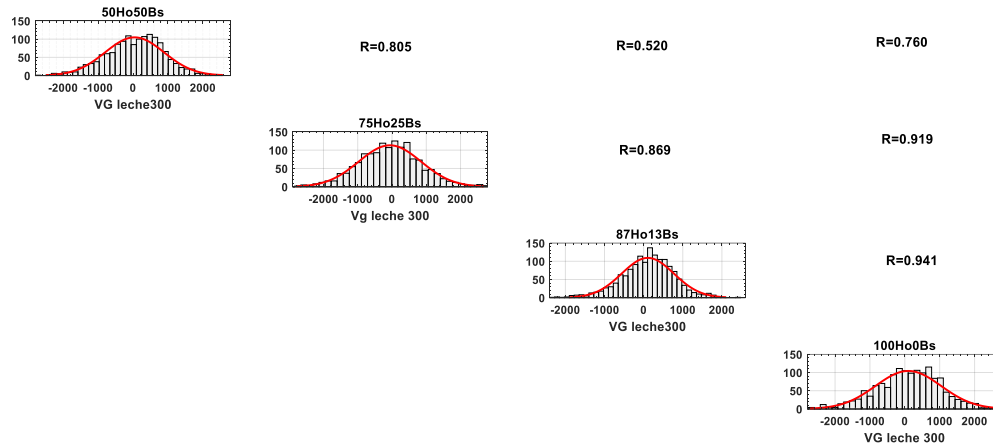


Estos resultados corroboran las preocupaciones brindadas en la introducción respecto a esta temática y su importancia en la valoración genética en este tipo de animales puros y cruzados.

Con la solución de este RAMR se puede estimar el mérito de cada genotipo para TD, los cuales representan la combinación del componente genético de aditividad y de dominancia de TD a lo largo de la lactancia. Sin embargo, en términos prácticos este resultado puede ser muy complejo de utilizar ya que se trata de una expresión longitudinal cuya manifestación cobra más importancia cuando se mide en términos de sus efectos acumulados, generalmente producción de leche total de la lactancia. En tal sentido, se estimaron los VG_{a_i} de cada animal a 300 días de lactancia según el procedimiento presentado en la sesión previa y los resultados de distribución de frecuencia, así como las correlaciones entre los grupos de animales se presenta en la Figura 2. Los resultados demuestran la existencia de una importante variabilidad entre todos los animales de cada genotipo del orden entre -2500 a +2400 kgs, ligeramente superior para los animales Holstein puros y una relación positiva pero diferente de la unidad entre los mismos.

Figura 2

Variabilidad de cada genético en sus Valores Genéticos para leche en 300 días de lactancia y correlaciones entre los mismos.

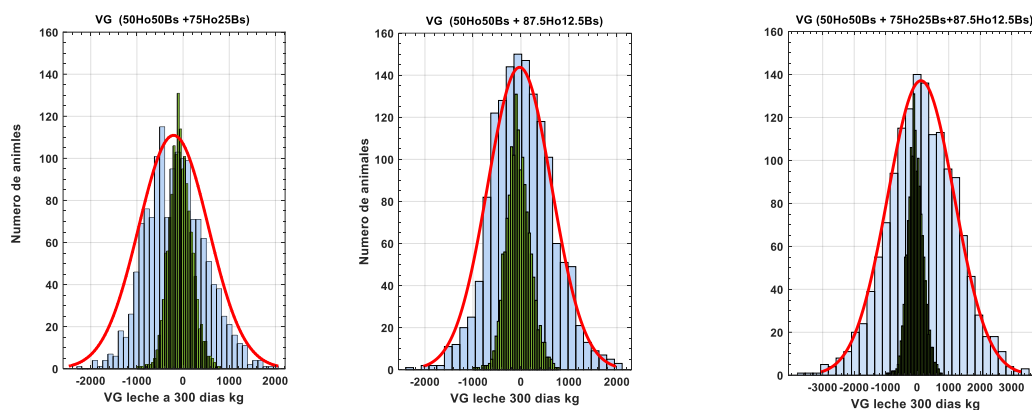


La solución RAMR aplicado permite estimar de VG_i ajustado por todos los efectos ambientales incluidos en el modelo, de manera que representa el Valor Genético Total (VG_{tot}) de cada animal que debe interpretarse como la contribución conjunta de los correspondientes Valores Genético de Aditividad (VG_{adi}) y Dominancia (VG_{dom}) de cada cruce, de manera que $VG_{tot} = (VG_{adi} + VG_{dom})$. Una posible solución puede obtenerse incorporando al modelo RAMR los efectos de grupo genético (Vanderick et al., 2009) ligados al animal puro (Q_{ga}) y al cruzado (S_{gd}) en cuyo caso la solución proporciona una estimación directa de VG_{adi} y de VG_{dom} las cuales se pueden sumar. Esta metodología aun cuando ha demostrado su utilidad (Vanderick et al., 2009; Strandén et al., 2013), puede no ser robusta debido a que asume que las diferentes proporciones de genes de diferentes razas presentes en el animal manifiestan un efecto homogéneo, lo cual puede ser un riesgo en el caso de animales lecheros, particularmente en condiciones de los programas llevados a cabo en países tropicales donde los sistemas de controles o no son adecuados o no contienen la información necesaria para conformar ambos grupos genéticos.

En la muestra representada se han estimado los VG_{tot} de cuatro genotipos cuyos resultados se pueden expresar como desviación del Holstein puro, las tres diferencias resultantes conforman un vector de 1491×3 que difieren en sus *coef* (ver tabla 2) y este sistema de ecuaciones se puede resolver aplicando la misma estrategia de Boichard et al. (1993) y los resultados se ilustran en la Figura 4 para diferentes combinaciones de cruzamientos y el total.

**Figura 4**

Distribución de frecuencia de los Valores Genético Aditivos █, Valor de Dominancia █ y Total █.



Los resultados manifiestan una distribución normal en los tres componentes de VG_{tot} , sin embargo, la variabilidad fue mayor cuando se emplean las tres desviaciones de conjunto. Respecto a VG_{dom} manifiesta la misma variabilidad en las tres estimaciones y en general representan el 28.4% de las variaciones en VG_{tot} , magnitud en modo alguno despreciable.

Los resultados de VG_{tot} deben interpretarse como las diferencias genéticas totales entre los genotipos representados en este estudio, identificando lo correspondiente a efectos de VG_{adi} y VG_{dom} . Este enfoque es diferente al método más usual en análisis multi racial donde los valores genéticos estiman simultáneamente los efectos raciales totales y de heterosis, asumiendo que son los mismos a lo largo de las diferentes proporciones de las razas (Newman et al., 2000). Los resultados actuales sugieren que tal procedimiento puede ser sesgado ya que existen diferencias debida al componente aditivo cuyos efectos pueden variar a lo largo de la proporción de genes de la raza mejoradora, la Ho en este ejemplo, mientras que los efectos de dominancia se mantuvieron constantes. El efecto de VG_{dom} no debe interpretarse como equivalente a heterosis la cual se relaciona con el comportamiento superior que manifiesta el animal respecto a la media de sus padres, mientras que VG_{dom} es un efecto total debido a la frecuencia de genes de diferentes progenitores.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado demuestra que los estimados de h^2 y componentes de (co)varianza varían a lo largo de la proporción racial entre el Ho y Bs representadas en este análisis, al mismo tiempo las r_{pc} son positivas pero diferentes a la unidad, de manera que los mejores animales en raza pura no son los mejores en cruzamiento. Con los Valores Genéticos (VG) de los animales cruzados expresados como desviación de los puros se pudieron estimar los VG de efectos de aditividad (VG_{adi}) y de dominancia (VG_{dom}), los cuales se pueden sumar para conformar el VG_{tot} , este enfoque puede tener aplicación en los programas de mejora ya que permitiría explotar la habilidad combinatoria general y específica de las razas incluidas. El pequeño tamaño de la muestra disponible impide una generalización de esta alternativa, de manera que se sugiere otros estudios que corroboren el enfoque aplicado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnold, J. W., Bertrand, J. K., & Benyshek, L. L. (1992). Animal model for genetic evaluation of multibreed data. *J Anim Sci* 1992. 70: 3322-3332.
- Ahlborn-Greier, G., & Hohenboken, W. (1991). Additive in dairy and nonadditive cattle: evidence genetic effects on milk production for major individual heterosis effects. *J Dairy Sci* 74: 592-402.
- Boichard, D., Bonaiti, B., & Barbat, A. (1993). Effect of Holstein Crossbreeding in the French Black and White Cattle Population. *J Dairy Sci* 76: 1157-1162.
- Dickerson, G. E. (1969). Experimental approaches in utilising breed resources. *Anim. Breed. Abstr.* 37:191.
- Duenk, P., Calus, M., & Wientjes, Y. (2019). Validation of genomic predictions for body weight in broilers using crossbred information and considering breed-of-origin of alleles. *Genet Sel E*.51-38. <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0481-7>
- García, L. & Toro, A. (2006). Multibreed analysis by splitting the breeding values. *Genet. Sel. E*. 38: 601-615. https://link.springer.com/article/10.1186/1297-9686-38-6-601&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=7787222108209655603&ei=SZ7aZf2JE_-By9YPjPqUqAg&scisig=AFWwaebOT9bESrRYtKfsMj3AOohM
- Gilmour, A., Cullis, B., Welham, S., Gogel, B., & Thompson, R. (2021). An efficient computing strategy for prediction in mixed linear models, *Computational Statistics & Data Analysis* 44:571-586. [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(02\)00258-X](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(02)00258-X)
- Guerra, R. y Menéndez-Buxadera, A. (2020). Análisis comparativo de la repetibilidad para producción de leche en ganado Holstein puro o cruzado con Brown Swiss y Jersey en la cuenca lechera de Chiriquí. *Revista Investigaciones Agropecuarias* 3(1):. 12-29.
- Guevara, D. (2012). Desafíos para la consolidación de la cadena de leche. En: *Cadena Agroalimentaria de la leche Panamá*. MIDA, p. 31.
- Jamrozik, J., & Schaeffer, L. (1997). Estimates of Genetic Parameters for a Test Day Model with Random Regressions for Yield Traits of First Lactation Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 80(4): 762-770.
- Karoui, S. Carabaño, M., Díaz, C., & Legarra, L. (2012). Joint genomic evaluation of French dairy cattle breeds using multiple-trait models. *Genetics Selection Evolution* 2012, 44:39.
- Lo, L., Horton, B., & Stutz, J. (1997). Genetic analysis of heterosis in dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 75(4), 987-995.
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2021). Unidad técnica de cadenas agroalimentarias. Disponible em <https://mida.gob.pa/unidad-tecnica-de-cadenas-agroalimentarias/>.



- Newman, A., & Reverte, A. (2000). Practical aspects of crossbred genetic evaluation. "Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees" Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium. Noosa. Queensland, Australia, 303-315.
- Pereira, I., Cruz, I., Rupprechter, G., & Meikle, A. (2017). Salud y eficiencia reproductiva de vacas lecheras en sistemas de base pastoril de florida. <http://www.spluy.com/documentos/articulos/salud/Pereira2017.pdf>
- Pitty, C. (2023). Interacción genotipo-ambiente en sementales Holstein utilizados en la cuenca lechera de Chiriquí. Tesis de grado: Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 73 p.
- Quaas, R., & Zhang, Z. (2006). Multibreed genetic evaluation in the US beef cattle context: Methodology. Proc. 8th World Congr. Appl. Livest. Prod., Belo Horizonte, Brazil. Communication 24-12.
- Ribeiro, V., Raidan, S., Barbosa, A., Silva, M., Cardoso, F., & Toral, F. (2019). Multiple trait and random regression models using linear splines for genetic evaluation of multiple breed populations. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 464-475.
- Robison, O., McDaniel, B., & Rincon, E. (1981). Estimation of direct and maternal additive and heterotic effects from crossbreeding experiments in animals. *Journal Animal Science*. 52(1), 44-50.
- Stranden, I., & Mantysaari, E. (2013). Use of random regression model as an alternative for multibreed relationship matrix. *J. Anim. Breed. Genet.* 130: 4-9.
- Vanderick, S., Harris, B., Pryce, J., & Gengler, N. (2009). Estimation of test-day model (co)variance components across breeds using New Zealand dairy cattle data. *J. Dairy Sci.* 92:1240-1252.
- Vargas, B., & Romero, J. (2010). Efectos genéticos aditivos y no aditivos en cruces rotacionales Holstein×Jersey y Holstein×Pardo Suizo. *Agronomía Mesoamericana*, 21(2): 223-234.
- Vega, R. (2022). Pronóstico de la producción de leche en Panamá mediante el uso de series de tiempo Forecast of milk. *Visión Antataura*, 6(1): 1-15. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/225/2253327024/>
- Vitezica, Z., Varona, L., Elsen, J., Misztal, I., Herring, W., & Legarra, A. (2016). Genomic BLUP including additive and dominant variation in purebreds and F1 crossbreds, with an application in pigs. *Genet Sel.* (6): 2-8. <https://gsejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12711-016-0185-1>
- Wientjes, Y., Veerkamp, R., Calus, M., & Bijma, P. (2017). Analysis of heterosis for milk yield in dairy cattle using a full pedigree and genomic model. *Journal of Dairy Science*, 100(12): 9912-9924.



Zumbach, B., Tsuruta, S., Misztal, I., & Peters, K. (2008). Use of a test day model for dairy goat milk yield across lactation in Germany. *J. Anim. Breed. Genet.* 125: 160-167.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2007.00718.x>



COMPARACIÓN DE MODELOS NO LINEALES PARA EL AJUSTE DE CURVAS DE CRECIMIENTO Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS EN POLLOS COBB 500

COMPARATION OF NONLINEAR MODELS TO FIT GROWTH CURVE AND ESTIMATION OF PRODUCTIVE PARAMETERS IN COBB 500 CHICKENS

*Saavedra, Roberto. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Desarrollo Agropecuario, Panamá. roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4531-6434>

Mudarra, Richard. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá. richard.mudarra@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>

Cedeño, Héctor. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá. hector.cedenov@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8400-4276>

Pimentel, Tamara. Consultor Independiente, Panamá. tamaraan26@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-5861-2910>

*Autor de Correspondencia: roberto-r.saavedra-f@up.ac.pa

Recibido: 09/02/2024

Aceptado: 26/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5175>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue comparar la calidad del ajuste de cuatro funciones no lineales y dos funciones lineales polinómicas en la variable de respuesta peso vivo (g) en pollos de raza Cobbs 500, para la estimación de parámetros referentes al proceso biológico del crecimiento respecto a la edad del ave (días), considerando tres diferentes situaciones de estructura de covarianzas residuales. Se utilizó una base de datos tomada en 2023, de 1000 registros de 200 pollos de la raza Cobb 500 en los 1, 7, 21, 33 y 42 días de vida. Asumir una estructura de covarianza heterocedástica por día y autocorrelacionada AR(1) mejora la bondad de ajuste de los modelos respecto a una estructura de covarianza homocedástica e independiente, dada la heterogeneidad de varianza encontrada a medida que avanza la edad de las aves ($p < 0.05$) y la alta correlación ($\hat{\rho} > 0.75$) residual dentro de cada animal. Los modelos de Gompertz y Logística tuvieron mejor ajuste que el resto de las funciones evaluadas, en función a los AIC e BIC obtenidos. Los parámetros α y κ tienen una correlación negativa ($\rho < -0.80$), al igual que κ y TI ($\rho = -0.7054$) y α y TM ($\rho = -0.8464$). En conclusión, ajustar curvas de crecimientos mediante modelos no lineales con estructuras de covarianzas residuales heterocedásticas y correlacionadas permite estimar parámetros relacionados al ciclo de vida y así, obtener criterios de decisión en programas de manejo y llevar sistemas productivos de forma eficiente.

PALABRAS CLAVE: heterocedasticidad, autocorrelación, madurez, iteración, asíntota.

ABSTRACT. The objective of this study was to compare the goodness of fit of four nonlinear and two polynomial linear models to response variable body weight (g) in Cobbs 500 chicken, to estimate parameters related to biological process respect to time (days), considering three different residual covariance structure situation. A dataset of 1000 body weight records measured in 2023 from 200 Cobb 500 chicken in age: 1, 7 21, 33 and 42 days of life. Assuming a residual heterocedastyc by day and autocorrelated AR(1) by chicken covariance structure improved the goodness of fit of the models respect a residual independent and homocedastyc structure, due the heterogeneity of variance found when the age of the chicken grew up ($p < 0.05$) and the high residual correlation ($\hat{\rho} > 0.75$) within each animal. From all models, Gompertz and Logistic models have the best fit, according with AIC and BIC values. Parameters α and κ have a negative correlation ($\rho < -0.80$), similar with κ y TI ($\rho = -0.7054$) and finally, α and TM ($\rho = -0.8464$). In conclusion, fitting growth curves through nonlinear models with heterocedastic and correlated residual covariance structure allows estimating parameters related with life cycle stages and then, to obtain decision criteria in management programs and carry on productives systems in a efficient way.

KEYWORDS: heterocedasticity, autocorrelation, maturity, iteration, asymptote.



INTRODUCCIÓN

La producción avícola es de vital importancia dentro del sector agropecuario, debido a su aportación económica al país, pues en 2021 tuvo un valor bruto de producción de B/. 403.5 millones, representando un 23.2% del sector agropecuario (Asociación Nacional de Avicultores de Panamá, 2021), y ser una fuente importante de alimento de la población panameña, con un consumo de huevo y de pollo per cápita anual respectivo de 166 huevos/año y 38 kg/año en el 2021, siendo esta última cifra una más altas de Latinoamérica respecto al consumo (Ruíz, 2022).

Para el propósito de modelar curvas de crecimiento, se han generado modelos basados en soluciones de ecuaciones diferenciales, en el que se relaciona la tasa de crecimiento con la edad del individuo y ciertos parámetros productivos y cuya solución permite establecer una ecuación para el peso vivo en función de su edad y de valores fijos, conocidos como parámetros, los cuales en muchas veces son desconocidos, por lo que deben estimarse mediante métodos numéricos. Estas curvas parten de un peso inicial correspondiente a la fecha de nacimiento, el cual va aumentando a medida que avanza la edad hasta llegar a un tiempo donde la tasa de crecimiento se va ralentizando (tiempo de inflexión) hasta llegar a una estabilización de su peso, la cual corresponde a su edad adulta (peso de madurez), los cuales se definen en función de los parámetros estimados de α (peso de madurez), β (parámetro de edad), κ (parámetro de madurez) y m . Modelos no lineales como von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1957), Logística (Nelder, 1961), Gompertz (Winsor, 1932) y Verhulst (Verhulst, 1847) son frecuentes para modelar el crecimiento en especies de interés zootécnico, como lo son los pollos (Aggrey, 2002; Demuner et al., 2017; Galán et al., 2023; Demuner et al., 2017; Mouffok et al., 2019).

Para el propósito de modelar curvas de crecimiento, se han generado modelos basados en soluciones de ecuaciones diferenciales, en el que se relaciona la tasa de crecimiento con la edad del individuo y ciertos parámetros productivos y cuya solución permite establecer una ecuación para el peso vivo en función de su edad y de valores fijos, conocidos como parámetros, los cuales en muchas veces son desconocidos, por lo que deben estimarse mediante métodos numéricos. Estas curvas parten de un peso inicial correspondiente a la fecha de nacimiento, el cual va aumentando a medida que avanza la edad hasta llegar a un tiempo donde la tasa de crecimiento se va ralentizando (tiempo de inflexión) hasta llegar a una estabilización de su peso, la cual corresponde a su edad adulta (peso de madurez), los cuales se definen en función de los parámetros estimados de α (peso de madurez), β (parámetro de edad), κ (parámetro de madurez) y m . Modelos no lineales como von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1957), Logística (Nelder, 1961), Gompertz (Winsor, 1932) y Verhulst (Verhulst, 1847) son frecuentes para modelar el crecimiento en especies de interés zootécnico, como lo son los pollos (Galán et al., 2023; Demuner et al., 2017; Mouffok et al., 2019).

La raza avícola Cobb 500 es una de las más populares mundialmente como raza de engorde, debido a su eficiencia en conversión alimenticia, una gran ventaja para cualquier productor, dado los altos costos de producción presentes (Marcu et al., 2013). Varios estudios destacan las bondades productivas de esta raza (Pascalau et al., 2017; Rosero et al., 2012) respecto a su alta ganancia de peso y eficiente conversión alimenticia.



El objetivo de este estudio es evaluar el ajuste de cuatro funciones de curvas de crecimiento no lineales y dos funciones lineales polinómicas, para registros de peso vivos en pollos de la raza Cobbs 500, mediante la estimación de sus parámetros asociados a aspectos productivos considerando estructuras de covarianzas que se asocian a aspectos del proceso de generación de datos (independencia, correlación y heterogeneidad de varianza más correlación residual), teniendo en cuenta las propiedades biológicas de las especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en un galpón convencional de pollos de engorde en el Centro de Investigación Agropecuario de la Facultad de Ciencias Agropecuaria, ubicado en el corregimiento de Chiriquí, localizado a los 8°23'15.12" de Latitud norte y 82°19'47.48" de Longitud oeste y con una elevación de 26 msnm.

Animales del Experimento

Se utilizaron 200 pollos de engorde, machos y hembras de un día de edad (40.68 ± 0.45 gr), de la línea Cobb-Vantress 500. Todos los pollos fueron sometidos al mismo plan nutricional, basado en un alimento tipo harina formulado para suplir o exceder los requerimientos nutricionales establecidos por las tablas brasileras para aves y cerdos (Rostagno et al., 2017) según las siguientes etapas: Pre-inicio (F1: 1-7 días), Inicio (F2: 8-21 días), Crecimiento (F3: 22-33 días), y Engorde (F4: 34-42 días). En la F1 se ofreció un concentrado comercial con 21% proteína cruda, 2975, 74 kcal/kg EM, calcio 0,97% y fósforo 0,46%, en la F2: 20,3% proteína cruda, 3050,99, kcal/kg EM, calcio 0,87% y fósforo 0,41%, en la F3: 18% proteína cruda, 3150,29, kcal/kg, calcio 0,75% y fósforo 0,37%, y F4 16% proteína cruda, 3200,92, kcal/kg EM, calcio 0,63% y fósforo 0,29%. Todos los pollos bajo experimentación fueron sometidos al mismo protocolo de sanitario y condiciones micro ambientales.

Curvas de Crecimiento

Para el ajuste de las curvas de crecimiento, se ajustan cuatro diferentes modelos de regresión no lineal, correspondientes a los modelos de von Bertalanffy, Logística, Gompertz y Verhulst, donde ajusta cada modelo para este grupo muestral de la raza estudiada, cuyas formas algebraicas están enunciadas en la Tabla 1. Por otro lado, se ajustan ecuaciones polinómicas cuadráticas y cúbicas, donde las ecuaciones correspondientes de sus respectivos modelos lineales son $y_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2 + e_i$ y $y_i = \beta_0 + \beta_1 t_i + \beta_2 t_i^2 + \beta_3 t_i^3 + e_i$ respectivamente.

Los modelos no lineales se definen mediante el siguiente modelo estadístico, $y = f(t, \beta) + e$, donde y es la variable de respuesta (Peso vivo en kilogramos), $f(t, \beta)$ se denomina la función media del modelo con variable aleatoria t correspondiente al tiempo definido en días y e es el error aleatorio.

Además, se ajustan modelos lineales de regresión polinómicos, con la forma $y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j t_i^j + e_i$,

para el caso del modelo polinómico cuadrático ($p = 2$) y cúbico respectivamente ($p = 3$). Con estas funciones se asumen tres diferentes estructuras de covarianzas: el primer escenario se asume que el vector de observaciones y está distribuido de forma independiente e independiente (*iid*) normal



con media $f(t, \beta)$ y estructura de covarianza $\mathbf{I}\sigma^2$ ($\mathbf{y} \sim N(f(t, \beta), \mathbf{I}\sigma^2)$), donde \mathbf{I} es una matriz identidad, por lo que el vector de los residuales \mathbf{e} están idénticamente e independientemente distribuido de manera normal de la forma $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma^2)$:

$$Var(\mathbf{y}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & L & 0 \\ 0 & 1 & L & 0 \\ M & M & O & M \\ 0 & 0 & L & 1 \end{bmatrix} \sigma^2$$

El segundo escenario asume que los residuales correspondientes al animal j siguen una estructura de autocorrelación de orden 1 (AR(1)), donde para $t = s$, $e_{j,s} = \rho e_{j,s-1} + \eta_s$, donde η_s es la desviación en el tiempo s y ρ es la correlación de los residuales, que en función del tiempo, tenemos que:

$$corr(e_s, e_t) = \begin{cases} 1 & \text{si } t = s \\ \rho^{|t-s|} & \text{c.c} \end{cases}$$

Por tanto, se asume que vector de observaciones \mathbf{y} está distribuidos normal con media $f(t, \beta)$ y estructura de covarianza \mathbf{V} ($\mathbf{y} \sim N(f(t, \beta), \mathbf{V})$), en el que la matriz de varianza-covarianza \mathbf{V} tiene una forma:

$$Var(\mathbf{y}) = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^6 & L & \rho^{44} \\ & 1 & \rho & L & \rho^{33} \\ & & 1 & L & \rho^{33} \\ M & M & O & M \\ sym. & & L & 1 \end{bmatrix} \sigma^2$$

Y el tercer escenario asume que las observaciones asumen una estructura autocorrelacionada AR(1) y una estructura de varianza heterocedástica respecto al tiempo, en el que el vector de observaciones \mathbf{y} está distribuidos normal con media $f(t, \beta)$ y estructura de covarianza \mathbf{V} ($\mathbf{y} \sim N(f(t, \beta), \mathbf{V})$), en el que la matriz de varianza-covarianza \mathbf{V} tiene una forma:

$$Var(\mathbf{y}) = \mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{11} & L & \mathbf{V}_{15} \\ M & O & M \\ \mathbf{V}_{51} & L & \mathbf{V}_{55} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{V}_{i,j} = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^6 & L & \rho^{44} \\ & 1 & \rho & L & \rho^{33} \\ & & 1 & L & \rho^{33} \\ M & M & O & M \\ sym. & & L & 1 \end{bmatrix} \sigma_i^2$$



Estimación de Parámetros

La estimación de los parámetros $\hat{\theta}$ de cada modelo no lineal ajustado se hace mediante el método iterativo de Gauss – Newton con patrón de convergencia de $\text{tol} = 0.0001$. Para el caso de la estimación de los parámetros de los modelos lineales de regresión polinómica, se estiman mediante la metodología de mínimos cuadrados, ya sea ordinarios (OLS) para el caso del supuesto de errores homocedásticos e independientes, y generalizados (GLS) para el caso de errores autocorrelacionados de orden 1 (AR(1)) y con varianza heterocedástica (heterogeneidad de varianza).

Para evaluar al modelo de mejor ajuste en cada subgrupo, se considera el Criterio de Información de Akaike (AIC), el Criterio de Información Bayesiano (BIC), donde estos criterios denotan que el modelo con menor valor dentro de los modelos evaluados es el de mejor ajuste. Como valor de bondad de ajuste, se considera el coeficiente de determinación (R^2). La significancia de los parámetros se obtiene mediante el estadístico t con una significancia de $\alpha = 0.05$, mientras que la normalidad residual se verifica mediante la prueba de Shapiro-Wilks ($\alpha = 0.05$). Tanto el trabajo de manejo de datos, ajuste de los modelos propuestos y confección de gráficos se realiza en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023), en el que específicamente se ajustan los modelos autocorrelacionados y heterocedásticos con el paquete nlme (Pinheiro y Bates, 2000) y los gráficos mediante el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

Tabla 1

Modelos de Regresión No Lineales utilizados para ajustar las curvas de crecimientos en pollos Cobb.

Modelo	Función
Von Bertalanffy	$y_i = \alpha(1 - \beta e^{-kt})^3 + \varepsilon_i$
Logística	$y_i = \frac{\alpha}{(1 + e^{-kt})^m} + \varepsilon_i$
Verhulst	$y_i = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-kt}} + \varepsilon_i$
Gompertz	$y_i = \alpha e^{-\beta e^{-kt}} + \varepsilon_i$



Peso de Madurez

El ajuste de modelos no lineales permite estimar el peso de madurez o asintótico que tendrá cada ave a lo largo que transcurre el tiempo ($t \rightarrow \infty$), matemáticamente expresado como la asíntota horizontal de la función no lineal dado los parámetros del modelo estimados, expresado como el límite al infinito del tiempo t para la función y ; $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t; \beta) = a$, donde a es el peso asintótico estimado. Esto es de vital importancia para tener referencias del peso que pudiese tener un ave o promedio de una muestra de estas en una fecha posterior a los pesos muestrales registrados en el intervalo de días, específicamente de la edad madura del animal. Es conveniente considerar teoremas respecto a los límites al infinito (donde la variable predictora t tiende al infinito), de la siguiente forma:

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} e^{-t} = \frac{1}{e^t} = 0 \quad \text{y} \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} e^t = +\infty \tag{1}$$

En la que e es la constante de Napier, un número irracional ($e \in \mathbb{R} / \mathbb{Q}$) aproximado a 2,71828. Para evaluar la presencia de asíntotas horizontales en el modelo de von Bertalanffy, aplicando el límite con t tendiendo al infinito de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa t})^3 = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa \lim_{t \rightarrow \infty} t})^3 = \alpha(1 - \beta e^{-\kappa \cdot \infty})^3 = \alpha(1 - \beta e^{-\infty})^3$$

Según lo mostrado en la ecuación [1], en el que $e^{-\infty} = 0$, tenemos la correspondiente asíntota horizontal de la función no lineal de von Bertalanffy:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \alpha(1 - \beta(0))^3 = \alpha(1)^3 = \alpha \tag{2.1}$$

Para la función Logística, la asíntota horizontal correspondiente se determina mediante la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \frac{\alpha}{(1 + e^{-\kappa t})^m} = \frac{\alpha}{(1 + e^{-\kappa \lim_{t \rightarrow \infty} t})^m} = \frac{\alpha}{(1 + e^{-\kappa \cdot \infty})^m} = \frac{\alpha}{(1 + e^{-\infty})^m}$$

Según lo mostrado en [1], $e^{-\infty} = 0$, por lo que nos permite determinar la asíntota horizontal correspondiente al peso del animal al que puede llegar a alcanzar en una edad avanzada, para la función:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \frac{\alpha}{(1+0)^m} = \frac{\alpha}{1^m} = \alpha \tag{2.2}$$

Para el modelo de Gompertz, la asíntota horizontal del mismo se determina de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa t}} = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa \lim_{t \rightarrow \infty} t}} = \alpha e^{-\beta e^{-\kappa \cdot \infty}} = \alpha e^{-\beta e^{-\infty}} = \alpha e^{-\beta \cdot 0} = \alpha e^0 = \alpha \tag{2.3}$$

Para el modelo de Verhulst, se determina su asíntota horizontal de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\kappa t}} = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\kappa \lim_{t \rightarrow \infty} t}} = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\kappa \cdot \infty}} = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\infty}}$$

Según [1], en el que indica que $e^{-\infty} = 0$, tenemos la correspondiente asíntota horizontal de la función no lineal de Verhulst:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\infty}} = \frac{\alpha}{1 + \beta \cdot 0} = \frac{\alpha}{1} = \alpha \tag{2.4}$$



Para los modelos lineales polinómicos, en el caso de una regresión lineal cuadrática, el límite cuando tiende al infinito de sus funciones

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 = \lim_{t \rightarrow \infty} t^2 \left(\frac{\beta_0}{\lim_{t \rightarrow \infty} t^2} + \frac{\beta_1}{\lim_{t \rightarrow \infty} t} + \lim_{t \rightarrow \infty} \beta_2 \right) = \lim_{t \rightarrow \infty} t^2 (0 + 0 + \beta_2) = \infty (\beta_2)$$

Lo que indica que $\lim_{t \rightarrow +\infty} y \rightarrow +\infty$ si $\beta_2 > 0$ y $\lim_{t \rightarrow +\infty} y \rightarrow -\infty$ si $\beta_2 < 0$, lo cual solo existe el caso de tener asíntota horizontal si $\lim_{t \rightarrow +\infty} y \rightarrow \beta_0$ si $\beta_1 = \beta_2 = 0$, lo que no es valor representativo del peso adulto de un animal. De manera similar ocurre con el modelo polinómico cúbico:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3 = \lim_{t \rightarrow \infty} t^3 \left(\frac{\beta_0}{\lim_{t \rightarrow \infty} t^3} + \frac{\beta_1}{\lim_{t \rightarrow \infty} t^2} + \frac{\beta_2}{\lim_{t \rightarrow \infty} t} + \lim_{t \rightarrow \infty} \beta_3 \right) = \infty (0 + 0 + 0 + \beta_3) = \infty (\beta_3)$$

En el que, de manera similar, $\lim_{t \rightarrow +\infty} y \rightarrow +\infty$ si $\beta_3 > 0$ y $\lim_{t \rightarrow +\infty} y \rightarrow -\infty$ si $\beta_3 < 0$ y el único caso de posible asíntota horizontal es cuando $\lim_{t \rightarrow +\infty} y \rightarrow \beta_0$ si $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, que no refleja el peso de madurez del animal, esto es a causa de que β_0 es el parámetro de intercepto correspondiente al peso y cuando $t = 0$, indicativo del inicio de vida del animal y no correspondiente con su fase adulta.

Tasa de Crecimiento

Esta unidad de medida es referente a la ganancia de peso de cada animal respecto a un intervalo de tiempo dado. Matemáticamente, para una función se define su tasa de cambio como la primera derivada de dicha función, en la que se suele encontrar expresada con la notación y' , $f'(t)$ o dy/dt . Para el modelo Logística, se define su función de tasa de crecimiento al obtener su primera derivada, de la siguiente forma:

$$y' = D_t \left[\frac{\alpha}{(1 + e^{-\kappa t})^m} \right] = \frac{-\alpha m (1 + e^{-\kappa t})^{m-1} (-\kappa e^{-\kappa t})}{(1 + e^{-\kappa t})^{2m}} = \alpha \kappa m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{m-1-2m}$$

$$= \alpha \kappa m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-m-1} = \alpha \kappa m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-(m+1)} \quad [3.1]$$

Para el modelo de von Bertalanffy, se define su tasa de crecimiento al obtener su primera derivada, de la siguiente forma:

$$y' = D_t \left[\alpha (1 - \beta e^{-\kappa t})^3 \right] = 3\alpha (1 - \beta e^{-\kappa t})^2 (\beta \kappa e^{-\kappa t}) \quad [3.2]$$

Para el modelo de Gompertz, se define su tasa de crecimiento al obtener la primera derivada de su función:

$$y' = D_t \left[\alpha e^{-\beta e^{-\kappa t}} \right] = (\alpha e^{-\beta e^{-\kappa t}}) (\beta \kappa e^{-\kappa t}) = \alpha \beta \kappa e^{-\kappa t - \beta e^{-\kappa t}} \quad [3.3]$$

Para el modelo de Verhulst, se calcula la primera derivada de su función, correspondiente a su tasa de crecimiento:

$$y' = D_t \left[\frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\kappa t}} \right] = \frac{-\alpha (-\beta \kappa e^{-\kappa t})}{(1 + e^{-\kappa t})^2} = \frac{\alpha \beta \kappa e^{-\kappa t}}{(1 + e^{-\kappa t})^2} \quad [3.4]$$

Para los modelos polinómicos cuadráticos y cúbicos, se tiene su respectivas tasa de crecimiento:



$$y' = D_t [\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2] = \beta_1 + 2\beta_2 t$$

$$y' = D_t [\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3] = \beta_1 + 2\beta_2 t + 3\beta_3 t^2$$

Tiempo de Inflexión

Este parámetro es referente al punto en el intervalo de tiempo en la función referente a la tasa de crecimiento, en el que hay un cambio de tendencia, y basados en las particularidades biológicas de las curvas de crecimiento animal, en la que la función debe pasar de ser creciente a decreciente, teniendo una forma cóncava hacia abajo. Matemáticamente, se obtiene mediante el criterio de la segunda derivada, en el cual se toma el punto de inflexión cuando tiene una pendiente igual a cero.

Para el modelo logística, se toma se segunda derivada de esta al derivar la primera derivada de dicho modelo, mostrada en [3.1] y se desglosa el procedimiento:

$$\begin{aligned} y'' &= \alpha\kappa m(-\kappa)e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-(m+1)} + \alpha\kappa m e^{-\kappa t} (-m-1)(1 + e^{-\kappa t})^{-(m+2)} (-\kappa e^{-\kappa t}) \\ &= \alpha\kappa^2 m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-(m+1)} [e^{-\kappa t} (m+1)(1 + e^{-\kappa t})^{-1} - 1] \end{aligned}$$

Se iguala esta ecuación de segunda derivada a cero, según el siguiente procedimiento:

$$0 = \alpha\kappa^2 m e^{-\kappa t} (1 + e^{-\kappa t})^{-(m+1)} [e^{-\kappa t} (m+1)(1 + e^{-\kappa t})^{-1} - 1] \Rightarrow 0 = m e^{-\kappa t} - 1 \Rightarrow e^{-\kappa t} = 1/m$$

Aplicando logaritmos a ambos lados de la igualdad, tenemos que el tiempo de inflexión del modelo logística:

$$\begin{aligned} \ln e^{-\kappa t} &= \ln(1/m) \Rightarrow -\kappa t = -\ln(m) \\ t &= \ln(m) / \kappa \end{aligned} \tag{4.1}$$

Para el modelo de von Bertalanffy, se obtiene la segunda derivada respecto a la primera derivada de la ecuación descrita en [3.2]:

$$\begin{aligned} y'' &= 6\alpha(1 - \beta e^{-\kappa t})(\beta\kappa e^{-\kappa t})(\beta\kappa e^{-\kappa t}) + 3\alpha(1 - \beta e^{-\kappa t})^2 (-\beta\kappa^2 e^{-\kappa t}) \\ y'' &= 3\alpha(1 - \beta e^{-\kappa t})(\beta\kappa e^{-\kappa t}) [3\beta\kappa e^{-\kappa t} - \kappa] \end{aligned}$$

Se iguala esta ecuación de segunda derivada a cero, según el siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned} 0 &= 3\alpha(1 - \beta e^{-\kappa t})(\beta\kappa e^{-\kappa t}) [3\beta\kappa e^{-\kappa t} - \kappa] = 3\beta\kappa e^{-\kappa t} - \kappa \Rightarrow 3\beta\kappa e^{-\kappa t} = \kappa \\ e^{-\kappa t} &= \kappa / 3\beta\kappa = 1/3\beta \end{aligned}$$

Se obtiene el tiempo de inflexión del modelo de von Bertalanffy al aplicar logarítmicos a ambos lados de la igualdad anterior:

$$\begin{aligned} \ln e^{-\kappa t} &= \ln(1/3\beta) \Rightarrow -\kappa t = -\ln(3\beta) \\ t &= -\ln(3\beta) / -\kappa = \ln(3\beta) / \kappa \end{aligned} \tag{4.2}$$

Para el modelo de Gompertz, se obtiene la segunda derivada respecto a la primera derivada de la ecuación descrita en [3.3] y luego igualando la segunda derivada a cero:



$$y'' = \alpha\beta\kappa e^{-\kappa t - \beta e^{-\kappa t}} (-\kappa + \beta\kappa e^{-\kappa t})$$

$$0 = -\kappa + \beta\kappa e^{-\kappa t} \Rightarrow \beta\kappa e^{-\kappa t} = \kappa \Rightarrow e^{-\kappa t} = \frac{\kappa}{\beta\kappa} = \frac{1}{\beta}$$

Se obtiene el tiempo de inflexión del modelo de Gompertz al aplicar logarítmicos a ambos lados de la igualdad anterior:

$$\begin{aligned} \ln e^{-\kappa t} &= \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) \Rightarrow -\kappa t = -\ln(\beta) \\ t &= \frac{\ln(\beta)}{\kappa} \end{aligned} \tag{4.3}$$

Para el modelo de Verhulst, se obtiene primero la segunda derivada al derivar la ecuación resultante de la primera derivada de dicho modelo, mostrada en [3.4] y luego se iguala la segunda derivada respecto a cero para encontrar el tiempo de inflexión:

$$\begin{aligned} y'' &= D_t \left[\frac{\alpha\beta\kappa e^{-\kappa t}}{(1 + \beta e^{-\kappa t})^2} \right] = \frac{\alpha\beta\kappa^2 e^{-\kappa t} (1 + \beta e^{-\kappa t}) [-1 + \beta e^{-\kappa t}]}{(1 + \beta e^{-\kappa t})^4} \\ 0 &= \frac{\alpha\beta\kappa^2 e^{-\kappa t} (1 + \beta e^{-\kappa t}) [-1 + \beta e^{-\kappa t}]}{(1 + \beta e^{-\kappa t})^4} \Rightarrow 0 = -1 + \beta e^{-\kappa t} \Rightarrow \beta e^{-\kappa t} = 1 \Rightarrow e^{-\kappa t} = \frac{1}{\beta} \end{aligned}$$

Se aplica la función logaritmo a ambos lados de la igualdad de esta ecuación:

$$\begin{aligned} \ln e^{-\kappa t} &= \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) \Rightarrow -\kappa t = -\ln(\beta) \\ t &= \frac{\ln(\beta)}{\kappa} \end{aligned} \tag{4.4}$$

Respecto a los modelos polinómicos, el modelo cuadrático no tiene tiempo de inflexión, puesto que su segunda derivada no arroja un valor que corresponde al tiempo y que haga que la función de derivada sea igual a cero. Por otro lado, la función cúbica tiene el siguiente tiempo de inflexión:

$$\begin{aligned} y'' &= D_t [\beta_1 + 2\beta_2 t + 3\beta_3 t^2] = 2\beta_2 + 6\beta_3 t \Rightarrow 0 = 2\beta_2 + 6\beta_3 t \\ t &= \frac{-\beta_2}{3\beta_3} \end{aligned} \tag{4.5}$$

Peso de Inflexión

Este parámetro es referente al peso en gramos en el punto de tiempo de inflexión, en donde la curva de la tasa de crecimiento para de ser creciente a decreciente: En este caso específico para los modelos Logística, de von Bertalanffy, Gompertz y Verhulst, tenemos los pesos de inflexión al reemplazar sus respectivos tiempos de inflexión encontrados en [4.1], [4.2], [4.3] y [4.4] respectivamente en las ecuaciones de crecimientos descritos en la Tabla 1.

Aplicando este procedimiento al modelo logística, reemplazando el tiempo de inflexión descrito en [4.1] en su ecuación matemática, tenemos que:

$$y = \frac{\alpha}{\left(1 + e^{-\kappa\left(\frac{\ln(m)}{\kappa}\right)}\right)^m} = \frac{\alpha}{\left(1 + e^{-\kappa\left(\frac{\ln(m)}{\kappa}\right)}\right)^m} = \frac{\alpha}{\left(1 + e^{-\ln(m)}\right)^m} = \frac{\alpha}{\left(1 + e^{\ln\left(\frac{1}{m}\right)}\right)^m} = \frac{\alpha}{\left(1 + \frac{1}{m}\right)^m}$$



$$= \frac{\alpha}{\left(\frac{m+1}{m}\right)^m} = \alpha \left(\frac{m}{m+1}\right)^m \quad [5.1]$$

El peso de inflexión correspondiente al modelo de von Bertalanffy se obtiene al reemplazar el tiempo de inflexión mostrado en [4.2] en su ecuación matemática:

$$y = \alpha \left(1 - \beta e^{-x \left(\frac{\ln(3\beta)}{x}\right)}\right)^3 = \alpha \left(1 - \beta e^{-\ln(3\beta)}\right)^3 = \alpha \left(1 - \beta e^{\ln\left(\frac{1}{3\beta}\right)}\right)^3 = \alpha \left(1 - \beta \left(\frac{1}{3\beta}\right)\right)^3$$

$$= \alpha \left(1 - \frac{1}{3}\right)^3 = \frac{8\alpha}{27} \quad [5.2]$$

El peso de inflexión de Gompertz es encontrado al reemplazar su tiempo de inflexión descrito en [4.3] en su ecuación matemática:

$$y = \alpha e^{-\beta e^{-x \left(\frac{\ln(\beta)}{x}\right)}} = \alpha e^{-\beta e^{-\ln(\beta)}} = \alpha e^{-\beta e^{\ln\left(\frac{1}{\beta}\right)}}$$

$$= \alpha e^{-\beta \left(\frac{1}{\beta}\right)} = \alpha e^{-1} = \frac{\alpha}{e} \quad [5.3]$$

El peso de inflexión del modelo de Verhulst se obtiene al reemplazar su tiempo de inflexión presente en [4.4] en su ecuación algebraica:

$$y = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-x \left(\frac{\ln(\beta)}{x}\right)}} = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\ln(\beta)}} = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{\ln\left(\frac{1}{\beta}\right)}}$$

$$= \frac{\alpha}{1 + \beta \left(\frac{1}{\beta}\right)} = \frac{\alpha}{2} \quad [5.4]$$

El peso de inflexión del modelo polinómico cúbico se obtiene al reemplazar el valor presente en la ecuación [4.5] en su ecuación algebraica:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{-\beta_2}{3\beta_3}\right) + \beta_2 \left(\frac{-\beta_2}{3\beta_3}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{-\beta_2}{3\beta_3}\right)^3 = \beta_0 - \frac{\beta_1\beta_2}{3\beta_3} + \frac{\beta_2^3}{9\beta_3^2} - \frac{\beta_2^3}{27\beta_3^2} = \beta_0 - \frac{\beta_1\beta_2}{3\beta_3} + \frac{2\beta_2^3}{27\beta_3^2} \quad [5.5]$$

Grado de Maduración

Es una medida representativa del nivel de madurez que tiene el ave en determinada edad respecto a su edad madura. Se estiman valores respectivos a la tasa de maduración al dividir el peso estimado por determinada función con su peso de madurez, estimado por su asíntota horizontal. Para el caso de las funciones no lineales von Bertalanffy, Logística, Gompertz y Verhulst, se tienen sus funciones de grado de maduración en determinado tiempo *t* al dividir la función presente en la Tabla 1 con el peso de madurez presente en las ecuaciones [2.1], [2.2], [2.3] y [2.4] respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medias de las mediciones respecto a los pesos (g), así como las ganancias de pesos diarias (g/día) están presentes en la Tabla 2, las cuales muestran que los pesos en gramos tienen una tendencia creciente, en la que se puede resaltar que en los periodos correspondientes al intervalo



de 1 a 7 días y al periodo de 7 a 21 días, las aves en promedio ganan un 235.28% y un 399.75% respectivamente, lo cual empieza a disminuir en el período entre 21 a 33 días y al periodo entre 33 y 42 días, donde ganan un 121.81% y 44.16% respectivamente. De forma similar se encuentra que la ganancia de peso tiene un incremento del 144.14% en el periodo entre los 7 y 21 días y un 77.68% en el periodo entre 33 y 42 días un 0.07%. Por lo que se puede apreciar que los pesos tienden a ganar menos peso luego de los 21 días, incluso que la ganancia diaria de peso tiende a anularse en el periodo entre 33 y 42 días.

Tabla 2

Valores medios de peso y de ganancia diaria de peso (GDP) \pm desvíos estándar.

Día	n	Peso (g)	GDP (g/día)
1	200	40.68 \pm 0.99	---
7	200	136.39 \pm 14.32	15.95 \pm 2.32
21	200	681.61 \pm 66.16	38.94 \pm 3.85
33	200	1511.85 \pm 145.04	69.19 \pm 7.40
42	200	2179.53 \pm 186.92	74.19 \pm 7.82

Luego de ajustar las curvas de crecimiento por ave según las funciones no lineales descritas en la Tabla 1, si bien es cierto que se registran altos valores de R^2 descritos en la Tabla 3 para todos los modelos ajustados bajo diferente estructuras de covarianza ($R^2 > 0.75$), según los resultados de AIC y BIC, considerar una estructura de covarianza residual diferente al supuesto de independencia residual es conveniente, ya que se puede ver que para cada modelo ajustado, ya sea para los modelos no lineales, así como para los modelos polinómicos, los modelos con una estructura residual AR(1) por animal, arrojó mejores valores de AIC y BIC respecto al modelo con una estructura residual independiente, mientras que los modelos ajustados bajo una estructura heterocedástica por día tuvieron mejores valores de AIC y BIC que los modelos con estructura residual independiente y AR(1), ya que se ve la disminución de los valores de AIC y BIC, valores que tienden a ser recíprocos respecto a la disminución de sus resultados.

Hay que considerar el hecho que los valores de R^2 no mostraron comportarse de forma paralela a los valores mostrados por el AIC y BIC, lo cual no debe tomarse como una medida confiable para seleccionar un modelo respecto en base al mejor ajuste de los datos, puesto que según Spiess y Neumeyer (2010), muestra poca sensibilidad respecto a la diferencia entre modelos, aun cuando hay tendencias amplias mostradas por estadísticos como el AIC y BIC, sino que también no tiene la representación teórica que muestra el R^2 en los modelos lineales, pues en modelos no lineales, la suma de cuadrados totales no es igual a la suma de cuadrados residuales más la suma de cuadrados de regresión.

Tanto como a nivel general, así como dentro de los modelos ajustados según su estructura de covarianza, los modelos de Gompertz y Logística muestran un mejor ajuste respecto a los otros modelos, resaltando que en el ajuste mediante estructura de varianza covarianza heterocedástica y correlacionada AR(1), hay diferencias entre ambos modelos, ya que hay una diferencia importante tanto de AIC y BIC de 10 puntos entre ambos modelos, favorable al modelo de Gompertz. Estudios como Galán et al. (2023) sugieren que para un conjunto de datos de crecimientos tanto en machos como en hembras de la raza Andaluza Azul, el modelo de Gompertz tuvo el mejor ajuste. Mouffok



et al. (2019) para un conjunto de datos de pollos de la raza Cobb 500 bajo tres sistemas de engorde, el modelo de Gompertz tuvo el mejor ajuste en el primer mes. Demuner et al. (2017) para un estudio de crecimiento de pollos de la raza Cobb, Hubbart y Ross, el modelo de Gompertz junto al de Richards mediante una estructura residual heterocedástica y autocorrelacionada AR(1) mostraron el mejor ajuste, en comparación a otros modelos no lineales como el de von Bertalanffy. Además, según lo mostrado en la Tabla 3, el modelo de Gompertz demostró ser el más eficiente computacionalmente hablando, ya que requirió menos iteraciones para la convergencia necesaria para estimar los parámetros del modelo, para cada diferente estructura de covarianza en la que se ajustaron los modelos utilizados en este estudio. Hay que destacar que para ajustar los modelos no lineales bajo supuesto de estructura de covarianza heterocedástica y correlacionada, se requirió mayor cantidad de iteración para la convergencia que cuando se ajustó con estructura de covarianza independiente y homocedástica, así como una estructura correlacionada, sobre todo en el modelo de Verhulst, que requirió 132 iteraciones para converger cuando seguía una estructura heterocedástica. Se asume que, al aumentar la cantidad de parámetros por estimar, se requieran mayor cantidad de iteraciones para la convergencia y así optimizar la bondad de ajuste del modelo (Mouffok et al., 2019).

La prueba de Levene ($p < 0.05$) sugiere que los datos en función de los días no tienen una homogeneidad de varianza, ya que la misma se va ampliando a medida que pasan los días, tal como sugieren los desvíos estándar en cada día de medición en los datos observados en la Tabla 2 y los desvíos estimados correspondientes a cada día en cada función asumiendo una estructura residual heterocedástica y correlacionada, descritos en la Tabla 4. Autores como Mazucheli et al. (2011), Demuner et al. (2017) y Mouffok et al. (2019) reportan que la varianza en los datos de crecimiento aumenta a medida que aumenta la magnitud de la variable tiempo. Los valores de correlación estimados ($\hat{\rho}$) en los modelos con estructura de covarianza autocorrelacionada de orden 1 sugieren una alta correlación de las observaciones dentro de cada animal ($\hat{\rho} > 0.75$), lo cual sugiere para cada función ajustada, hubo una mejora en su ajuste al asumir una estructura residual correlacionada respecto a cuando se asumió una estructura residual independiente.



Tabla 3

Criterios de comparación entre modelos (AIC y BIC), números de iteraciones para convergencia, $\hat{\sigma}$, $\hat{\rho}$ y R^2 para los modelos ajustados según su estructura de covarianza.

Modelo	Función	$\hat{\sigma}$	$\hat{\rho}$	R^2	AIC	BIC	Iter.
No Correlacionada							
	von Bertalanffy	109.90	---	0.983	1228.594	1239.015	10
	Logística	109.00	---	0.983	1227.066	1237.487	6
	Verhulst	112.40	---	0.982	1233.102	1243.523	7
	Gompertz	109.00	---	0.983	1226.962	1237.383	4
AR(1)							
NLIN	von Bertalanffy	124.62	0.857	0.982	1149.878	1162.904	6
	Logística	121.84	0.865	0.983	1140.905	1153.931	4
	Verhulst	143.41	0.897	0.976	1153.493	1166.518	9
	Gompertz	121.24	0.862	0.983	1141.311	1154.337	3
AR(1) + Varianzas Heterogéneas							
	von Bertalanffy	***	0.771	0.983	914.270	937.717	16
	Logística	***	0.908	0.976	914.820	938.267	45
	Verhulst	***	0.980	0.882	1047.835	1071.282	132
	Gompertz	***	0.876	0.980	904.096	927.543	19
No Correlacionada							
	Cuadrático	112.70	---	0.982	1233.608	1244.029	---
	Cúbico	110.20	---	0.983	1230.201	1243.227	---
AR(1)							
LIN	Cuadrático	120.76	0.756	0.983	1176.042	1188.915	---
	Cúbico	121.79	0.839	0.983	1160.413	1175.800	---
AR(1) + Varianzas Heterogéneas							
	Cuadrático	***	0.774	0.982	931.941	955.114	---
	Cúbico	***	0.799	0.983	928.752	954.396	---

Iter = número de iteraciones para convergencia, R^2 = coeficiente de determinación, $\hat{\sigma}$ = desvío estándar residual estimada, $\hat{\rho}$ = correlación residual estimada, AIC = Criterio de Información de Akaike, BIC = Criterio de Información Bayesiano. *** resultados presentes en Tabla 4.

Hay que indicar que todos los modelos ajustados con una estructura de covarianza heterocedástica y autocorrelacionada de orden 1, estiman valores razonables de desvíos estándares en relación de los desvíos estándares observados por día, salvo el modelo de Verhulst, que sobreestima la varianza en cada día, según lo que indica la Tabla 4, pues la diferencia porcentual entre las varianzas observadas y estimada bajo este modelo, para los días 1, 7, 21, 33 y 42 representa un incremento de 5057.03, 271.68, 170.37, 204.29 y 118.94% respectivamente, debido a que se presentan muchas circunstancias de manejo como deficiencias sanitarias o efectos de competencia de animal, que causan esta alta variación entre los pesos de las aves a medida que avanza la edad de las mismas.



Tabla 4

Desvíos estándares estimados por día para modelos con estructura heterocedástica en el tiempo y correlacionada AR(1) según cada ave.

Modelo	Función	$\hat{\sigma}_1$	$\hat{\sigma}_7$	$\hat{\sigma}_{21}$	$\hat{\sigma}_{33}$	$\hat{\sigma}_{42}$
NLIN	von Bertalanffy	1.2429	17.1887	61.4326	133.1878	167.7655
	Logística	1.8442	30.7603	88.8270	155.9149	201.0988
	Verhulst	51.0546	53.2244	178.8749	441.3466	409.2537
	Gompertz	1.6052	24.3490	72.6048	141.0277	175.1793
	Cuadrática	1.2552	16.1145	69.2027	160.2116	176.2294
LIN	Cúbica	1.3062	16.7828	62.4902	144.2256	166.5897

Los parámetros estimados para cada modelo, sea no lineal o polinómico, bajo distintas estructuras de covarianzas, están presentes en la Tabla 5, junto a sus respectivos desvíos estándares. Se observa una disminución en los coeficientes de variación por parámetro $\%CV = 100 \left(SD(\beta) / \hat{\beta} \right)$ al aplicar una estructura residual de covarianza diferente al de una estructura homocedástica e independiente, en el que toma el parámetro α correspondiente al peso de madurez, y para cada función ajustada, el modelo de Gompertz muestran valores de 12.08, 6.35 y 3.50% para el ajuste bajo una estructura de covarianza independiente, correlacionada AR(1) y una estructura de covarianza heterocedástica y correlacionada AR(1) respectivamente. Las otras funciones como Logística reportan valores respectivos de 9.31, 5.09 y 2.97%; von Bertalanffy reportan valores de 28.04, 11.94 y 13.04; y Verhulst reporta valores de 4.61, 3.29 y 1.72%.

Mientras que el parámetro κ , correspondiente a la tasa de maduración, muestra igual tendencia para el ajuste bajo una estructura de covarianza independiente, correlacionada AR(1) y una estructura de covarianza heterocedástica y correlacionada AR(1), donde el modelo de Gompertz tiene valores de %CV respectivos de 8.94, 6.67 y 2.00%; el modelo de von Bertalanffy muestra valores respectivos de 20.40, 8.33 y 7.14%; para el modelo logística 7.13, 5.56 y 1.55%; y el modelo de Verhulst 5.16, 3.83 y 0.78%. Lo cual es indicativo que el coeficiente de variación de cada parámetro estimado disminuye a medida que el proceso de estimación considera estructuras de covarianzas correlacionadas y con heterogeneidad de varianzas.



Tabla 5

Parámetros estimados ± desvíos estándares estimados de los modelos estimados bajo diferentes estructuras de covarianzas, tiempo de inflexión y peso de inflexión estimados.

Modelo	Función	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\kappa}$	\hat{m}	TI (Día)	PI (g)	
No Correlacionada								
	von	9290.00 ±	0.87 ±	0.0196 ±	---	49.02	2752.59	
	Bertalanffy	2605.00***	0.01***	4E-3***				
	Logística	3949.00 ±	---	0.0561 ±	6.56 ±	33.52	1556.98	
		367.60***		4E-3***	0.26***			
	Verhulst	2802.00 ±	38.25 ±	0.1162 ±	---	31.36	1401.00	
		129.30***	4.31***	6E-3***				
	Gompertz	4581.00 ±	4.86 ±	0.0447 ±	---	35.37	1685.26	
		553.50***	0.20***	4E-3***				
AR(1)								
NLIN	von	7314.63 ±	0.91 ±	0.0240 ±	---	41.85	2167.30	
	Bertalanffy	873.01***	0.02***	2E-3***				
	Logística	4076.83 ±	---	0.0540 ±	6.41 ±	34.40	1609.71	
		207.24***		3E-3***	0.23***			
	Verhulst	3133.23 ±	25.87 ±	0.0991 ±	---	32.83	1566.61	
		103.23***	2.21***	3.8E-3				
	Gompertz	4542.97 ±	4.90 ±	0.0450 ±	---	36.32	1671.27	
		288.39***	0.20***	3E-3***				
	AR(1) + VARIANZAS HETEROGÉNEAS							
		von	15357.89 ±	0.87 ±	0.0140 ±	---	68.52	4550.48
	Bertalanffy	2006.21***	0.005***	1E-3***				
	Logística	3684.82 ±	---	0.0580 ±	6.83 ±	33.13	1449.16	
		109.53***		9E-4***	0.04***			
	Verhulst	2993.96 ±	36.78 ±	0.1274 ±	---	28.30	2993.96	
		51.66***	0.801***	1E-3***				
	Gompertz	4527.98 ±	4.95 ±	0.04 ± 8E-	---	39.98	1665.75	
		158.29***	0.03***	4***				
Método	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	TI (Día)	PI (g)	
Lineal								
No Correlacioanda								
	Cuadrático	9.37 ±	14.16 ±	0.91 ±	---	---	---	
		23.95	3.00***	0.07***				
	Cúbico	48.57 ±	-2.21 ±	1.89 ±	-0.01 ±	63.00	4910.28	
		28.94	7.67	0.43***	7E-3*			
LIN	AR(1)							
		Cuadrático	13.72 ±	14.31 ±	0.89 ±	---	---	---
			27.28	2.05***	0.04***			
		Cúbico	48.98 ±	-2.81 ±	1.91 ±	-0.02 ±	31.83	1249.68
		28.09	3.38	0.18***	3E-3***			
AR(1) + VARIANZAS HETEROGÉNEAS								



Cuadrático	32.54 ± 0.44***	6.78 ± 0.60***	1.05 ± 0.02***	---	---	---
Cúbico	34.03 ± 0.56***	5.09 ± 0.72***	1.32 ± 0.06***	-0.006± 1E-3***	73.33	5139.40

*Significancia estadística (P<0.05); ***Significancia estadística (P<0.0001)

En los modelos de Gompertz (GM) y Logística (LG), los valores de peso de madurez o asintótico estimados ($\hat{\alpha}$) son parecidos a los descritos por Demuner *et al.* (2017) para la raza Cobbs, y tienden a disminuir cuando se ajustan los modelos considerando una estructura residual heterocedástica y autocorrelacionada ($\hat{\alpha}_{GM} = 4527.98$, $\hat{\alpha}_{LG} = 3684.82$, $\hat{\alpha}_{VH} = 2993.96$, $\hat{\alpha}_{VB} = 15357.89$) respecto al ajuste de los modelos con una estructura homocedástica e independiente ($\hat{\alpha}_{GM} = 4581.00$, $\hat{\alpha}_{LG} = 3949.00$, $\hat{\alpha}_{VH} = 2802.00$, $\hat{\alpha}_{VB} = 9290.00$), mientras que en el modelo de von Bertalanffy (VB) y Verhulst (VH) sucede lo contrario, pues las estimaciones de este parámetro aumentan, similar a lo mostrado por Demuner *et al.* (2017), que reporta este aumento cuando se aplica una estructura heterocedástica y correlacionada al modelo para la función de von Bertalanffy, mientras el valor desciende para la función logística y de Gompertz.

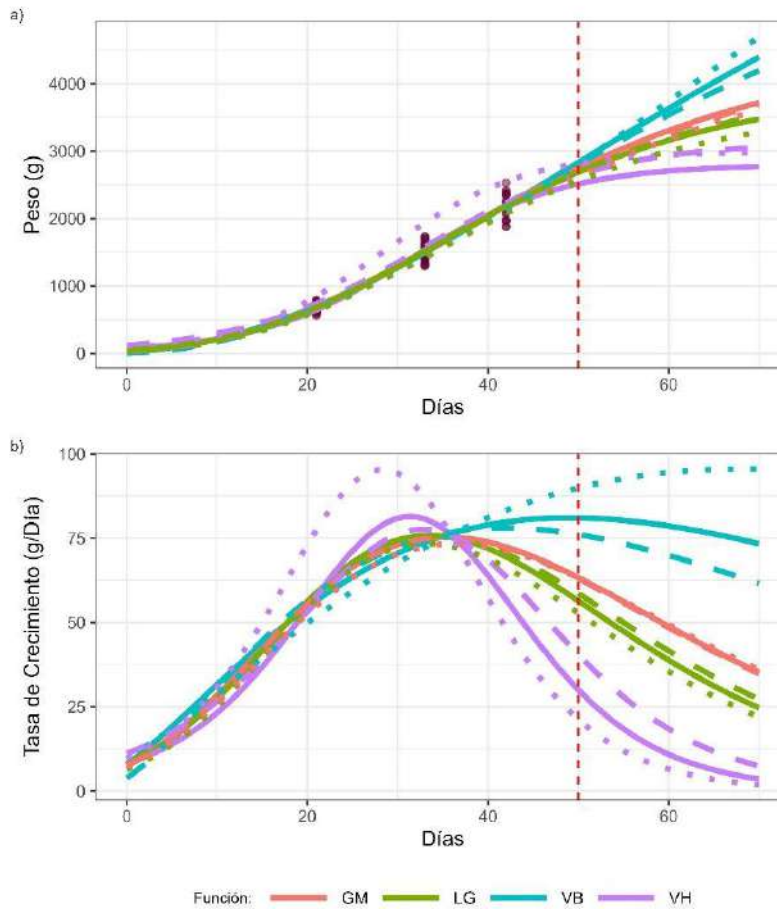
Además, Galán *et al.* (2023) en un estudio para aves de la raza Andaluza Azul, y Demuner *et al.* (2017) para la raza Cobbs, señalan que α estimado por el modelo de von Bertalanffy presentaba mayores valores que el resto de las funciones ajustadas, sugiriendo que las aves presentan un peso de maduración muy superior al resto de valores estimados por las otras funciones.

Los valores predichos de los pesos (g.) son función de los parámetros estimados en la Tabla 5 y gráficamente están expresados en la Figura 1(a). En general, dentro del periodo de 1 a 40 días la mayoría de los modelos se comportan similarmente, y luego de este tiempo, los valores de von Bertalanffy ajustados con las tres situaciones de estructuras de covarianza consideradas, tienden a ser mayor que el resto de las funciones ajustadas. En este caso, altos valores estimados de α hacen que los pesos estimados por su respectiva función sean más grandes, porque cada función es directamente proporcional a α , según lo indicado por la Figura 1(a), donde los valores ajustados por von Bertalanffy son mayores que los estimados por el resto de las funciones, más evidentes luego de los 40 días, con la excepción del modelo de Verhulst ajustado con una estructura de covarianzas heterocedástica y correlacionada AR(1), donde tiene un sesgo en sus estimaciones en el periodo entre los 20 y 50 días, por lo que sus valores de AIC y BIC referentes a la bondad de ajuste, fueron los más altos respecto a los otros modelos, indicativo que no tuvo mejor ajuste respecto a los otros modelos.



Figura 1

Comparación de las curvas de los modelos de von Bertalanffy (VB), Logística (LG), Verhulst (VH) y Gompertz (GM) ajustadas según una estructura residual independiente y homocedástica (línea sólida), estructura correlacionada AR(1) (línea rayada) y estructura heterocedástica y correlacionada AR(1) (línea punteada) para la variable crecimiento (a.) y la tasa de crecimiento (b.)



Los valores predichos de la tasa de crecimiento (g/día) visibles en la Figura 1(b) muestran una tendencia similar en el periodo entre 1 a 35 días en casi todos los modelos, con la excepción del modelo de Verhulst en el caso del ajuste con estructura de covarianza independiente y una estructura heterocedástica y autocorrelacionada (81.39 y 95.36 g/día respectivamente en su tiempo de inflexión), ya que arroja valores estimados superiores al resto de funciones ajustadas, en la que incluso presentan un mayor tasa de crecimiento máxima ($y'' = 0$) en un tiempo de inflexión menor que el resto de funciones ajustadas. Salvo los modelos concernientes a la función de von Bertalanffy, el resto de las funciones tienden a una disminución de la tasa de crecimiento luego de los 38 días debido a que tienen un tiempo de inflexión más precoz y por tanto llegan a su tasa de crecimiento máxima antes que las correspondientes a los modelos de von Bertalanffy.



Tabla 5

Correlación entre parámetros estimados en cada modelo.

	No Correlacionada		AR(1)		AR(1) + VAR. HETER.	
	von Bertalanffy					
	β	κ	β	κ	β	κ
α	-0.4745	-0.9943	-0.7850	-0.9890	0.9990	-0.9900
β	---	0.5622	---	0.8580	---	-0.9880
	Logística					
	κ	m	κ	m	κ	m
α	-0.9695	-0.5627	-0.9620	-0.6970	-0.8110	0.9850
κ	---	0.7374	---	0.8330	---	-0.793
	Verhulst					
	β	κ	β	κ	β	κ
α	-0.5287	-0.8840	-0.6920	-0.9080	0.077	-0.3900
β	---	0.8502	---	0.8950	---	0.5010
	Gompertz					
	β	κ	β	κ	β	κ
α	-0.5903	-0.9756	-0.7450	-0.9700	0.9890	-0.8700
β	---	0.7463	---	0.8650	---	0.8560

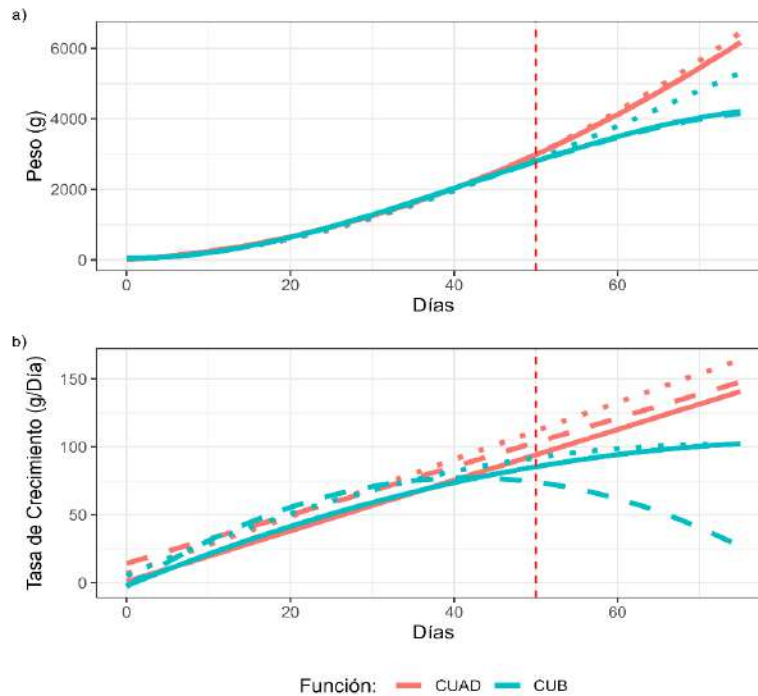
Los valores reportados para el parámetro estimado referente al parámetro de madurez ($\hat{\kappa}$) tienden a disminuir cuando se ajustan con una estructura residual heterocedástica y autocorrelacionada respecto a una estructura homocedástica e independiente, específicamente para los modelos de von Bertalanffy y Gompertz, mientras aumenta para los modelos logística y de Verhulst, lo que repercute en el tiempo de inflexión, ya que para todas las funciones, sea [4.1], [4.2], [4.3] y [4.4] sus valores estimados de este parámetro son inversamente proporcional a κ , por lo que el tiempo de inflexión se reduce a medida que aumenta κ ($\rho_{\kappa, TI} = -0.7054$). Los tiempos de inflexión (día) estimados rondan entre los 28 hasta los 68 días, destacando que el modelo de von Bertalanffy presentaba el tiempo de inflexión más largo, debido a sus bajos valores de κ , similar a lo reportado por Mouffok *et al.* (2019) y Demuner *et al.* (2017) en estudios de pollos de la línea Cobb, donde señalan que el modelo de von Bertalanffy estimaba los menores valores de κ respecto a los otros modelos, indicando que las aves de la muestra tenían una madurez menor a la indicada por los otros modelos.

Cabe señalar la fuerte correlación negativa entre los parámetros α y κ ($\rho < -0.80$) para casi todos los modelos ajustados, descritos en la Tabla 5, salvo para el modelo de Verhulst ajustado con una estructura de covarianza heterocedástica y correlacionada, en la que presenta una ligera correlación negativa entre ambos parámetros ($\rho = -0.39$). Brown *et al.* (1976) reporta esta tendencia en un estudio con ganado de raza Jersey, Brahman, cruces de Hereford y Brahman y Angus, donde se observa una correlación negativa de estos parámetros α y κ para las funciones ajustadas de von Bertalanffy, Gompertz, Logística, Richards y Brody bajo una estructura de covarianza residual independiente y homocedástica.



Figura 2

Comparación de las curvas de modelos polinómicos cuadrática (CUAD) y cúbica (CUB) ajustadas según una estructura residual independiente y homocedástica (línea sólida), estructura correlacionada AR(1) (línea rayada) y estructura heterocedástica y correlacionada AR(1) (línea punteada) para la variable crecimiento (a.) y la tasa de crecimiento (b.).



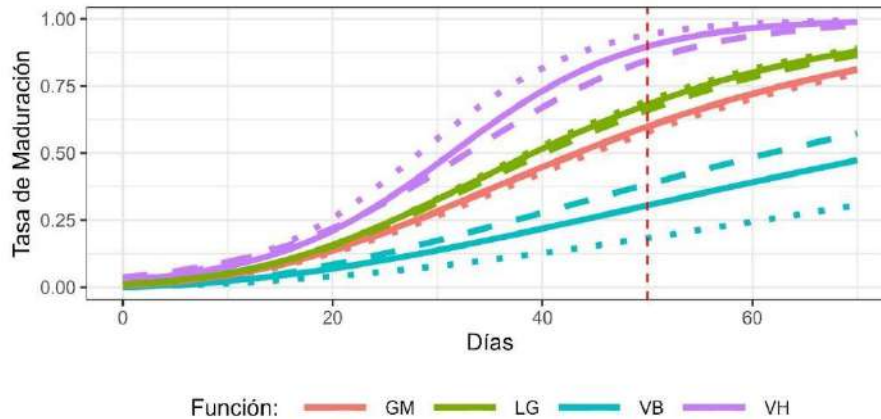
En relación a los modelos lineales polinómicos ajustados en este estudio, descritos en la Figura 2(a) y 2(b), si bien cierto tienen mayor ventajas de computación, al prescindir de valores iniciales requeridos para el proceso iterativo de estimación de parámetros en los modelos no lineales y presentan un ajuste razonable para los datos bajo las tres situaciones de estructura de covarianza residual, presentan menor ajuste de los datos con respecto a los modelos no lineales considerados en este estudio, en base a los valores de AIC y BIC.

La función cuadrática, al no tener punto de inflexión, no permite estimar tanto el tiempo y el peso de inflexión y según lo mostrado en la Figura 2(a) y 2(b) tiene una tasa de crecimiento ascendente a medida que aumenta la edad del ave ($\lim_{t \rightarrow \infty} y \rightarrow \infty, \lim_{t \rightarrow \infty} y' \rightarrow \infty$), lo cual no corresponde con el comportamiento biológico de la especie. Además, ambas funciones no permiten estimar ciertos parámetros concernientes a aspectos productivos del crecimiento, como lo son el peso de madurez y la tasa de madurez.



Figura 3

Comparación de las curvas de la tasa de maduración de los modelos de von Bertalanffy (VB), Logística (LG), Verhulst (VH) y Gompertz (GM) ajustadas según una estructura residual independiente y homocedástica (línea sólida), estructura correlacionada AR(1) (línea rayada) y estructura heterocedástica y correlacionada AR(1) (línea punteada).



Los valores estimados de la tasa de maduración (TM) para los modelos no lineales ajustados pueden apreciarse en la Figura 3, que la función logística (LG) y de Gompertz (GM) tienen valores cercanos entre sí, mientras que la función de von Bertalanffy tiene a estimar menores valores que el resto de funciones utilizadas en este estudio para este parámetro, y la función de Verhulst estima mayores valores que el resto de funciones, tomando como referencia a los 40 días, y las funciones ya sean ajustados con una estructura residual independiente ($TM_{LG} = 0.5164$, $TM_{GM} = 0.4478$, $TM_{VB} = 0.2184$, $TM_{VH} = 0.7318$) correlacionada ($TM_{LG} = 0.4970$, $TM_{GM} = 0.4447$, $TM_{VB} = 0.2376$, $TM_{VH} = 0.6706$) y heterocedástica - correlacionada ($TM_{LG} = 0.5272$, $TM_{GM} = 0.4267$, $TM_{VB} = 0.1273$, $TM_{VH} = 0.8162$). La tasa de maduración, al ser estimado mediante una función inversamente proporcional al peso de madurez, disminuye a medida que aumenta el peso de madurez estimado ($\rho = -0.8464$), lo que explica que la función de von Bertalanffy, al ofrecer estimaciones de α mayores al resto, arroje valores menores de la tasa de maduración que el resto de las funciones evaluadas en cualquier punto de la edad del animal.

CONCLUSIONES

Se recomienda el ajuste de modelos no lineales con estructuras de covarianzas residuales correlacionadas por animal y heterocedásticas respecto a la edad, ya que se demuestra que las observaciones en general no siguen una homogeneidad de varianzas en el tiempo, y que las observaciones dentro del animal tienen una alta correlación, , ya que, dentro de un animal, lo cual, les hace tener un mejor ajuste respecto a los modelos no lineales ajustados bajo una estructura residual independiente y homocedástico, a pesar que requiere un mayor esfuerzo computacional en término de iteraciones requeridas para la convergencia del proceso de estimación paramétrica, pues agrega más parámetros al modelo.



Dentro de todas las situaciones de estructuras de covarianzas utilizadas, los modelos de Gompertz y Logística arrojaron mejor ajuste que el resto de los modelos ajustados en este estudio, lo cual se recomienda la conveniente utilización de estos modelos para el ajuste de datos longitudinales de crecimiento en pollos. Además, se sugiere el estudio del ajuste de funciones no lineales mediante metodologías como modelos no lineales mixtos o modelos regularizados (Ridge, Lasso) y a su vez, considerar el ajuste de modelos de regresión Splines o GAM en datos de crecimiento respecto al tiempo, para evaluar la calidad del ajuste de estas metodologías, bajo las condiciones propias del país.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al personal técnico y en general, del Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI) relacionados con el programa avícola, por su trabajo diario relacionado en el manejo de los pollos durante el ciclo productivo, lo cual permitió la toma de los datos utilizadas en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggrey, S. E. (2002). Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry Science*, 73, 1822-6. <https://doi.org/10.1093/ps/81.12.1782>
- Asociación Nacional de Avicultores de Panamá. (12 de noviembre 2021). *Indicadores Económicos*. <https://www.anavip.org/index.php/indicadores-economicos/>
- Brown, J. E., Fitzhugh Jr., H. A., & Cartwright, T. C. (1976). A Comparison of Nonlinear Models for describing Weight-Age relationship in Cattle. *Journal of Animal Science*. 42(4), 810-817. <https://doi.org/10.2527/jas1976.424810x>
- Demuner, L. F., Suckeveris, D., Muñoz, J. A., Caetano, V. C., Lima, C. G. D., Faria, D. E. D., & Faria, D. E. D. (2017). Adjustment of growth models in broiler chickens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 1241-1252. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001200013>
- Galán, I., Arando, A., González, A., Navas, F. J., Salgado, J. I., Díaz, E. y Camacho, M. E. (2023). Caracterización de las curvas de crecimiento biológico de la gallina Andaluza Azul, una raza local amenazada. *Archivos de Zootecnia*, 72(279), 172-177. <https://doi.org/10.21071/az.v72i279.5730>
- Marcu, A., Vacaru-opri, I., Dumitrescu, G., Petculescu, L., Marcu, A., Nicula, M., Pe, I., Dronca, D., Kelcirov, B., & Mari, C. (2013). The Influence of Genetics on Economic Efficiency of Broiler Chickens Growth. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, 46(2), 339–346. <http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/240/309>
- Mazucheli, J., Souza, R. D., & Philippsen, A. S. (2011). Modelo de crescimento de Gompertz na presença de erros normais heterocedásticos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de*



- Biometria*, 29(1), 91-101. Recuperado de: https://biometria.ufla.br/antigos/fasciculos/v29/v29_n1/A7_mazucheli.pdf
- Mouffok, C., Semara, L., Ghoulmi, N., & Belkasmi, F. (2019). Comparison of Some Nonlinear Functions for Describing Broiler Growth Curves of Cobb500 Strain. *Poultry Science Journal*. 7(1): 51-61. 10.22069/psj.2019.15965.1386
- Nelder, J. A. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1), 89-110. <https://doi.org/10.2307/2527498>
- Pascalau, S., Cadar, M., Raducu, C., & Marchis, Z. (2017). Evaluation of productive performances in Ross 308 and Cobb 500 hybrids. *Animal Biology & Animal Husbandry*, 9(1), 22-27. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Mirela-Cadar-2/publication/332497136_Evaluation_of_productive_performances_in_Ross_308_and_Cobb_500_hybrids/links/5cb85ab492851c8d22f352e5/Evaluation-of-productive-performances-in-Ross-308-and-Cobb-500-hybrids.pdf
- Pinheiro J. C., & Bates D. M. (2000). *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, New York.
- R Core Team (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rosero, J. P., Guzman, E. F. y Lopez, F. J. (2012). Evaluación del comportamiento productivo de las líneas de pollos de engorde Cobb 500 y Ross 308. *Bioteconología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 8-15. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612012000100002&script=sci_arttext
- Rostagno, H., Teixeira, L., Hannas, M., Juarez, D., Sakomura, N., Perazzo, F., Saraiva, A., Teixeira, M., Rodrigues, P., Oliveira, R., Barreto, S. y Brito, C. (2017). *Tablas Brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. (4a ed.). Rostagno. Universidad Federal de Viçosa. <https://bitly.ws/UP9f>
- Ruíz, B. (Agosto de 2022). Latin America's 2021 growth restricted to broiler sector. *WattPoultry International*. Recuperado de https://www.poultryinternational-digital.com/poultryinternational/august_2022/MobilePagedArticle.action?articleId=1807213&app=false#articleId1807213
- Spiess, A. N., & Neumeyer, N. (2010). An evaluation of R^2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BMC Pharmacology*, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2210-10-6>
- Verhulst, P. F. (1847). Deuxième mémoire sur la loi d'accroissement de la population. 269. Hayez.
- von Bertalanffy, L. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *The quarterly review of biology*, 32(3), 217-231. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/401873>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.



Winsor, C. P. (1932). The Gompertz curve as a growth curve. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 18(1), 1-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.18.1.1>



PREVALENCIA DE NEMATODOS GASTROINTESTINALES EN EQUINOS DE GRANJA DE COMUNIDADES RURALES EN ALGUNAS PROVINCIAS DE PANAMÁ

PREVALENCE OF GASTROINTESTINAL NEMATODES IN FARM HORSES OF RURAL COMMUNITIES IN SOME PROVINCES OF PANAMA

*Pile, Edwin. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

edwin.pilem@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-6226-1500>

Warboys, Debbie. World Horse Welfare, Panamá.

DebbieWarboys@worldhorsewelfare.org

<https://orcid.org/0009-0005-7631-3796>

Rosas, Rommel. World Horse Welfare, Panamá.

salud03animal@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-0467-2834>

Bravo, Olga. Universidad de Panamá, Facultad de Medicina Veterinaria, Panamá.

osbfmv@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3883-251X>

Chang, Andrés. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

andres.chang@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-4776-6794>

Chang, Euribiades. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

euribiades.chang@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1228-9804>

*Autor de Correspondencia: edwin.pilem@up.ac.pa

Recibido: 11/11/2023

Aceptado: 08/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5176>

RESUMEN. Este estudio evaluó la prevalencia de nemátodos gastrointestinales en caballos de granja de comunidades rurales en algunas provincias de Panamá. Para ello, se recolectaron muestras de heces y se aplicaron técnicas coproparasitológicas para determinar la presencia de los géneros *Trichostrongylus* spp, *Strongyloides* sp, *Strongylus* spp y *Parascaris* spp. Los resultados mostraron que la edad de los caballos se asoció con altos índices de infestación, siendo los machos más jóvenes aquellos más afectados. Los nemátodos más prevalentes fueron *Trichostrongylus* spp (\bar{x} = 720hpg) y *Strongylus* spp (\bar{x} = 655hpg). Se recomienda la implementación de medidas preventivas apropiadas para disminuir la infestación/infección por estos parásitos y mejorar así el bienestar y salud de los caballos, así como prevenir enfermedades relacionadas con el mismo.

PALABRAS CLAVE: nemátodos, caballos, gastrointestinales, prevalencia, parásitos.

ABSTRACT. This study evaluated the prevalence of gastrointestinal nematodes in farm horses of rural communities in some provinces of Panama. Fecal samples were collected and coproparasitological techniques were applied to determine the presence of the genera *Trichostrongylus* spp, *Strongyloides* sp, *Strongylus* spp and *Parascaris* spp. The results showed that the age of the horses was associated with high infection indices, with younger males being the most affected. The most prevalent nematodes were *Trichostrongylus* spp (\bar{x} = 720hpg) and *Strongylus* spp (\bar{x} = 655hpg). It is recommended to implement proper preventive measures to reduce infestation by these parasites and thus improve the welfare and health of horses, as well as to prevent diseases related to it.



KEYWORDS: nematodes, horses, gastrointestinal, prevalence, parasites.

INTRODUCCIÓN

Estudios sobre la prevalencia de nemátodos gastrointestinales han demostrado una gran variación en sus índices, dependiendo de factores ambientales, manejo sanitario y genética de los equinos. De acuerdo con Gómez-Cabrera et al. (2019), la infestación con parásitos intestinales puede aumentar con el asentamiento humano, la presencia de animales y la acumulación de excrementos, haciendo de estos un importante reservorio de transporte. La ubicación geográfica, la raza y la edad también tienen un impacto significativo en los índices parasitarios.

Los parásitos gastrointestinales en equinos son un problema significativo para la salud y el bienestar de los caballos, así como una clara carga económica para los propietarios, como lo han evidenciado Belleza (2020) y Castaño-González et al. (2020), quienes señalan los efectos producidos por su infestación, entre los que se encuentran el debilitamiento, desarrollo lento, resistencia reducida a las enfermedades infecciosas, así como la ingesta deficiente y pérdida de peso de los animales, además de la merma en la producción de leche. El tratamiento de los caballos afectados puede también suponer un costo significativo para los propietarios, lo que repercutiría en la estabilidad económica de los mismos.

El objetivo de este estudio fue determinar la prevalencia de nemátodos gastrointestinales en caballos de granja de comunidades rurales de algunas provincias de la república, utilizando el conteo de huevos por gramo de heces (Calderón et al., 2021). Esto es importante, ya que las infestaciones por parásitos gastrointestinales significan un problema de salud de gran magnitud a nivel mundial, el cual puede conducir a enfermedades humanas, malestar animal y exposición a productos de riesgo al consumidor (Lignon et al., 2020; Martins et al., 2019; Belleza, 2020; Santillan et al., 2021). El saber la frecuencia de estos parásitos en los caballos contribuye al control de la transmisión de los agentes y promueve el bienestar de los animales (Grimaldos Díaz et al., 2020; Torres et al., 2023; Aguilar, 2019; Miranda et al., 2021; Vargas-Rocha et al., 2021; Remuzgo Lino, 2021). Este hecho es importante para un mejor manejo de la higiene y seguridad de estos animales en campo, siendo una de las medidas principales para la preservación de su salud (Matzer, 2020; Cooper et al., 2020; Sebastián, 2021; Gómez-Cabrera et al., 2019; Castaño-González et al., 2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estudiar la prevalencia de nemátodos gastrointestinales en caballos de varias comunidades rurales de Panamá, se recolectaron muestras de heces de los animales entre enero y noviembre de 2021 en corregimientos de Chiriquí, Coclé, Herrera, Los Santos, Panamá Oeste, Veraguas y Bocas del Toro, y en regiones Comarcales. Las variables evaluadas en este estudio fueron la provincia, el sexo, la edad, el número de huevos por gramo de heces (hpg) y el resultado del examen. La evaluación cuantitativa de los parásitos encontrados en las muestras fue realizada usando la técnica descrita por Cooper et al. (2020). Los resultados se analizaron para determinar la prevalencia de los géneros *Trichostrongylus* spp, *Strongyloides* sp, *Strongylus* spp y *Parascaris* spp. El margen



de error se calculó aplicando la fórmula $i = \sqrt{[z^2 * p * (1-p)] / tm}$, donde tm es el tamaño de la muestra, z es el valor de z de la distribución estándar para un intervalo de confianza del 95%, p es la prevalencia de la infección/infestación e i es el margen de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados indican que durante las visitas se recolectaron 1065 muestras con un margen de error de 0.018 al calcular la prevalencia de la infestación. La edad de los animales osciló entre 5.97 y 6.47 años, siendo la prevalencia de infección/infestación mayor en los machos ($p = 0.034$). Además, los animales jóvenes fueron los más afectados. El nematodo registrado con mayor frecuencia fue *Trichostrongylus* spp ($\bar{x} = 720$ hpg), seguido de *Strongylus* spp ($\bar{x} = 655$ hpg). Las mayores prevalencias se verificaron entre julio y agosto para *Trichostrongylus*, y en mayo-junio y noviembre para *Strongylus* (Figura 1). La distribución homogénea de este problema fue confirmada en diferentes provincias y comarcas evaluadas (Tabla 1).

Figura 1

Representación gráfica de la evolución de los índices de infestación por nemátodos en el periodo de estudio (azul = *Trichostrongylus* [$\bar{x} = 720$], rojo = *Strongylus* [$\bar{x} = 655$], verde = *Strongyloides* [$\bar{x} = 307$], naranja = *Parascaris* [$\bar{x} = 14$])

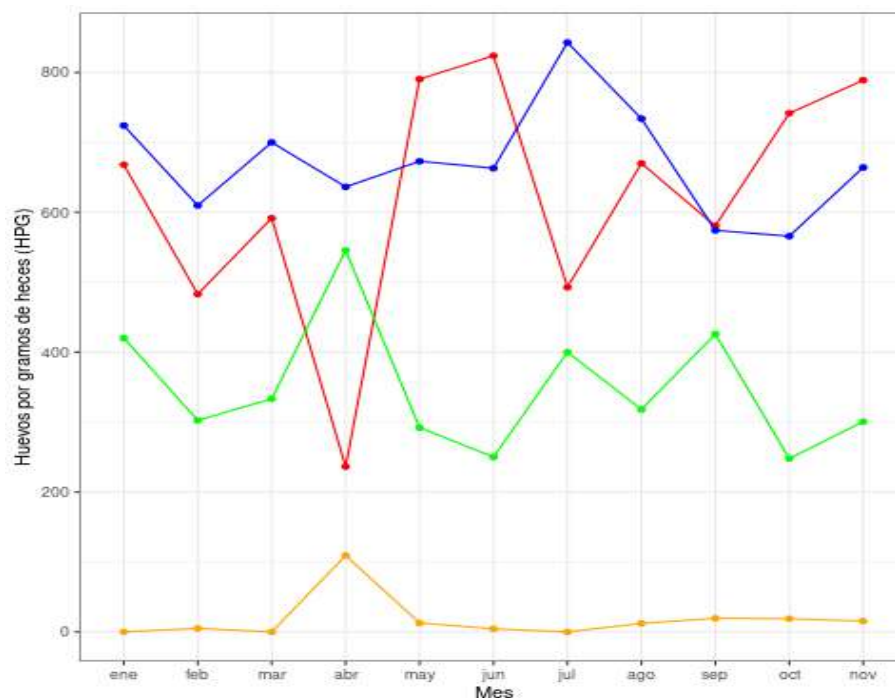




Tabla 1

Resultado de análisis comparativos y de correlación para las variables evaluadas.

Resultado del análisis de Chi-cuadrado					
	Observado	Esperado	Chi cuadrado	gl	Valor de p
Sexo	hembra (509) - macho (556)	hembra (532) - macho (532)	2.0742	1	0.1498
Sexo-Resultado	hembra (39) - macho (65)	hembra (50) - macho (54)	4.4477	1	0.03495
Provincia-Resultado	Bocas del Toro y comarcas (13) - Chiriquí (14) - Coclé (21) - Herrera (3) - Los Santos (16) - Panamá Oeste (24) - Veraguas (13)	Bocas del Toro y comarcas (11) - Chiriquí (18) - Coclé (25) - Herrera (3) - Los Santos (14) - Panamá Oeste (18) - Veraguas (15)	4.6613	6	0.5879
Resultado de la Prueba T de Student					
	Promedio	IC95%	t	gl	Valor de p
Edad	6.226415	5.977613 - 6.475217	49.105	1059	<2.2e-16
Resultado	0.9023474	0.8844908 - 0.9202041	99.155	1064	<2.2e-16
Análisis de correlación entre la edad y el conteo de huevos por gramo de heces.					
	Correlación (Método Pearson)	IC95%	t	gl	Valor de p
Edad - HPG	-0.09003768	-0.1494398 - -0.0299880	-2.9406	1058	0.003347

Los resultados de este estudio demuestran una elevada prevalencia de parásitos gastrointestinales en los equinos de las granjas rurales de algunas provincias de Panamá, lo cual está de acuerdo con los hallazgos de estudios previos (Grimaldos Díaz et al., 2020; Aguilar, 2019; Torres et al., 2023; Lignon et al., 2020). Estos resultados refuerzan la necesidad de establecer estrategias de control y mejora del bienestar y la salud de los caballos para garantizar su bienestar.

Además, indica una correlación negativa entre la edad y la prevalencia de infestación/infección. Esto puede explicarse por la generalmente menor resistencia de los caballos jóvenes a los parásitos debido a factores como una nutrición deficiente, los factores climáticos y la falta de supervisión del lugar en donde se alojan (Cooper et al., 2020; Santillan et al., 2021). Esto hace aún más importante el ejecutar un seguimiento y desarrollar estrategias preventivas adecuadas para reducir el porcentaje de infestación/infección de parásitos gastrointestinales entre los animales.

Este trabajo brinda información clave para guiar futuros estudios sobre los parásitos gastrointestinales en entre equinos para la región, así como para la implementación de medidas de control necesarias para garantizar una buena salud y bienestar de los caballos domésticos en comunidades rurales.



CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio revelaron una alta prevalencia de infección/infestación por parásitos gastrointestinales, principalmente *Trichostrongylus* spp y *Strongylus* spp, entre los caballos de algunas áreas rurales de Panamá. Esto se debe probablemente a factores como los abióticos, la alimentación y el manejo de los animales. Además, destacó la mayor frecuencia entre animales jóvenes. Se recomienda la implementación de medidas preventivas apropiadas para disminuir la infestación por estos parásitos y mejorar así el bienestar y salud de los caballos, así como prevenir enfermedades relacionadas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la World Horse Welfare (WHW) por la cedencia de los datos para esta investigación. Esta valiosa colaboración ha sido de gran ayuda para el proyecto y contribuye a entender y evaluar los beneficios de la salud y el bienestar equino. Apreciamos el compromiso de WHW con el trabajo científico y su disposición a colaborar. Nuestra gratitud se extiende también a sus miembros y empleados por su trabajo por mejorar la vida de estos animales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R. A. G. (2019). Parásitos Gastrointestinales en Equinos (*Equus Caballus*) de la Granja Militar Chilina, Arequipa 2018. Universidad Católica de Santa María.
- Belleza, A. Y. M. (2020). Estrongilosis equina: epidemiología, control y resistencia a los antihelmínticos. Universidad Científica del Sur.
- Calderón, Q., Elkin, G., & Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (2021). Factores de riesgo asociados a la prevalencia de parásitos gastrointestinales en animales de producción del Rancho Universitario de la UACJ. Instituto de Ciencias Biomédicas.
- Castaño-González, A. L. C., Arias, L. D. R., & Soto, M. J. C. (2020). Frecuencia de parásitos gastrointestinales en équidos destinados para consumo humano en una planta de beneficio en Antioquia, Colombia. *Revista Politécnica*, 16(32), 31–40.
- Cooper, L. G., Benard, B. J. P., Molinelli, A., Caffè, G., Llanos, I. F., Agostina, L. A., et al. (2020). Eliminación de huevos de los pequeños estróngilos en la materia fecal de los equinos y su importancia práctica en la posibilidad de tratamientos selectivos. *Revista FAVE. Sección Ciencias veterinarias*, 19(1), 1–6.
- Gómez-Cabrera, K., Salas-Romero, J., Lastra, Z. G., Barreto, J., Gutiérrez, M. L., Sorís, L., & Arenal, A. (2019). Actualización sobre la helmintofauna y otros parásitos de los equinos en Cuba. Artículo de revisión. *Revista de Producción Animal*, 31(2), 48–51.



- Grimaldos Díaz Paula, A., & Maluendas León Silvia, J. (2020). Prevalencia de Parásitos Gastrointestinales en Animales Sacrificados de la Familia. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 11(3), 86–103.
- Lignon, J. S., Martins, N. S., Mueller, A., Siegert, F., de Leão, M. S., Camassola, J. L. T., et al. (2020). Prevalência de nematódeos intestinais em equinos de tração na cidade de Pelotas/RS, Brasil. *Veterinária e Zootecnia*, 27, 1–6.
- Martins, N. S., Pinto, D. M., Cozza, T. d. S., Ávila Antunes, T. d., Mendes, T. A. E., & Janczak, A. (2019). Prevalência de nematódeos intestinais em equinos da região sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia PUBVET*, 13(12), a464.
- Matzer, L. C. (2020). Determinación de la prevalencia de nematodos gastrointestinales en bovinos en el municipio de El Tejar, Chimaltenango, Guatemala 2019. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Miranda, J. J. S., García, Y. J. M., & Universidad Nacional Agraria. (2021). Parasitosis gastrointestinales en equinos de campo (*Equus Ferus Caballus*), agropecuaria el Ancla comunidad el Hatillo Acoyapa Chontales-octubre 2020.
- Remuzgo Lino, J. R. (2021). Prevalencia de endoparásitos gastrointestinales en bovinos por análisis coprológico en establo lechero comunidad de todopampa Satipo. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Santillan, M. O., León-Gallardo, Z., Alarcón, W. N. G., Ramírez, J. M., & Rodríguez, C. S. (2021). Eficacia de antiparasitarios orales en el tratamiento y control de nematodos gastrointestinales en equinos. *TAYACAJA*, 4(1), 145–155.
- Sebastián, R. D. M. (2021). Prevalencia de parásitos nemátodos gastrointestinales en equinos (*Equus caballus*) en el distrito de Samuel Pastor, Camaná, Arequipa 2020. Universidad Católica de Santa María.
- Torres, J. H., Garzón, K. X. L., Obando, G. C., Rodríguez, R. S. G., & Veterinária e Zootecnia. (2023). Comparación de la frecuencia de parásitos gastrointestinales entre caballos de tracción y caballos estabulados. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(47), 14.
- Vargas-Rocha, L., Aquino, E. M., & Murga-Moreno, C. (2021). Prevalencia de trematodos y nematodos en asnos comercializados en la Plaza Pecuaria Iscocongá de la provincia de Cajamarca, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(3).



IDENTIFICACIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA PUDRICIÓN DE LA ALBURA DE LA TECA (*Tectona grandis* L. f.), EN LA PROVINCIA DE DARIÉN, REPÚBLICA DE PANAMÁ

IDENTIFICATION OF THE CAUSAL AGENT OF TEAK SAPP ROT (*Tectona grandis* L. f.), IN THE PROVINCE OF DARIÉN, REPUBLIC OF PANAMA

*Ballestero, Aydelbis. Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Darién, Panamá.

aydelbisballestero232@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-3912-6727>

Cortés, Luz. Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Darién, Panamá.

luzcortes9003@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-6258-9056>

*Autor de Correspondencia: aydelbisballestero232@gmail.com

Recibido: 05/03/2024

Aceptado: 08/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5177>

RESUMEN. La pudrición de la albura de la teca (*Tectona grandis* L. f.), es una enfermedad de reciente aparición en plantaciones comerciales de teca con edades entre 2-5 años, en la provincia de Darién. Esta investigación tuvo como objetivo, identificar el agente causal de la pudrición de la albura de la teca y determinar su incidencia y severidad en cinco fincas con plantaciones comerciales de teca localizadas en las comunidades de Relojera (3), La Moneda y Arizal. En cada finca se seleccionaron al azar cuatro unidades de muestreo con tamaño de una hectárea cada una y población de 625 árboles. Durante el muestreo se utilizó una cuadrícula para marcar los árboles enfermos y su secuencia. En función del nivel de afectación observado, se elaboró una escala arbitraria de 0 a 5 para la determinación de los diferentes grados de severidad observados, clasificados de la siguiente manera 0: arboles sanos; 1: arboles con fisuras; 2: arboles con cáncer basal inicial; 3: arboles con cáncer basal avanzado; 4: tumorización; 5: caída y muerte del árbol. Para la identificación del agente causal se aislaron muestras de tejido enfermo y se aislaron en medio agar papa dextrosa (PDA) para la observación de estructuras y forma de la colonia (Slippers, 2009). Se identificó a *Lasiodiplodia* sp. como agente causal de la pudrición de la albura de la teca, con niveles de incidencia entre 24.2 y 28.76%, con severidades que oscilaron entre 8.42 y 13.37 %. La patogenicidad del agente causal fue verificada mediante la inoculación de plantones en casa de vegetación siguiendo los postulados de Koch. Los mayores porcentajes de incidencia y severidad fueron encontrados en la finca de Arizal, con un 28.76% de incidencia y un 13.37% de severidad.

PALABRAS CLAVE: albura, árboles, Arizal, escala, incidencia, *Lasiodiplodia* sp., morfología, plantaciones forestales, Pudrición, severidad, teca, *Tectona grandis* L. f.

ABSTRACT. Teak sapwood rot (*Tectona grandis* L. f.), is a disease of recent appearance in commercial teak plantations aged between 2-5 years, in the province of Darién. The objective of this research was to identify the causal agent of teak sapwood rot and determine its incidence and severity in five farms with commercial teak plantations located in the communities of Relojera (3), La Moneda and Arizal. On each farm, four sampling units with a size of one hectare each and a population of 625 trees were randomly selected. During sampling, a grid was used to mark diseased trees and their sequence. Depending on the level of affectation observed, an arbitrary scale from 0 to 5 was developed to determine the different degrees of severity observed, classified as follows: 0: healthy trees; 1: trees with cracks; 2: trees with initial basal cancer; 3: trees with advanced basal cancer; 4: tumorization; 5: fall and death of the tree. To identify the causal agent, samples of diseased tissue were isolated and isolated on potato dextrose agar (PDA) medium for the observation of structures and shape of the colony (Slippers, 2009). *Lasiodiplodia* sp. was identified as a causal agent of teak sapwood rot, with incidence levels between 24.2 and 28.76%, with severities that



ranged between 8.42 and 13.37%. The pathogenicity of the causal agent was verified by inoculating seedlings in a vegetation house following Koch's postulates. The highest percentages of incidence and severity were found in the Arizal farm, with 28.76% incidence and 13.37% severity.

KEYWORDS: sapwood, trees, Arizal, scale, incidence, Lasiodiplodia sp., morphology, forest plantations, Rot, severity, teak, *Tectona grandis* L. f.

INTRODUCCIÓN

La teca al igual que otras especies forestales está expuesta a plagas y enfermedades, las mismas que son ocasionadas por factores asociados al medio en el que se desarrollan; los cuales pueden llegar a comprometer seriamente su sobrevivencia y, por lo tanto, significar una pérdida económica importante al afectar directamente su productividad (Agrios, 1998). Recientemente se ha detectado en la teca la incidencia de una enfermedad, que parece estar asociada a microorganismos fungosos, debido a las características propias de los síntomas y a la presencia de signos o señales de patógenos visibles a nivel de campo. En los actuales momentos, es notoria la preocupación en el sector maderero de la provincia de Darién, por el riesgo de perder las inversiones realizadas. Actualmente, los árboles presentan síntomas que incluyen necrosis en la base del tallo, que avanza provocando rajaduras en la región basal y necrosis interna de los tejidos, con pudrición de la albura; síntomas estos que en su fase terminal terminan con una tumoración de la región basal del árbol y la muerte y caída de este. (Arias, 2005). Se encuentran distribuidos en varias plantaciones de teca en la provincia Darién; se desconoce su etiología y los factores que la predisponen, para implementar mecanismos eficientes de prevención y control. Por tal motivo, esta investigación tuvo como objetivo estudiar la presencia de microorganismos asociados a los síntomas, con la idea central de identificar el agente causal de la pudrición de la albura de la teca.

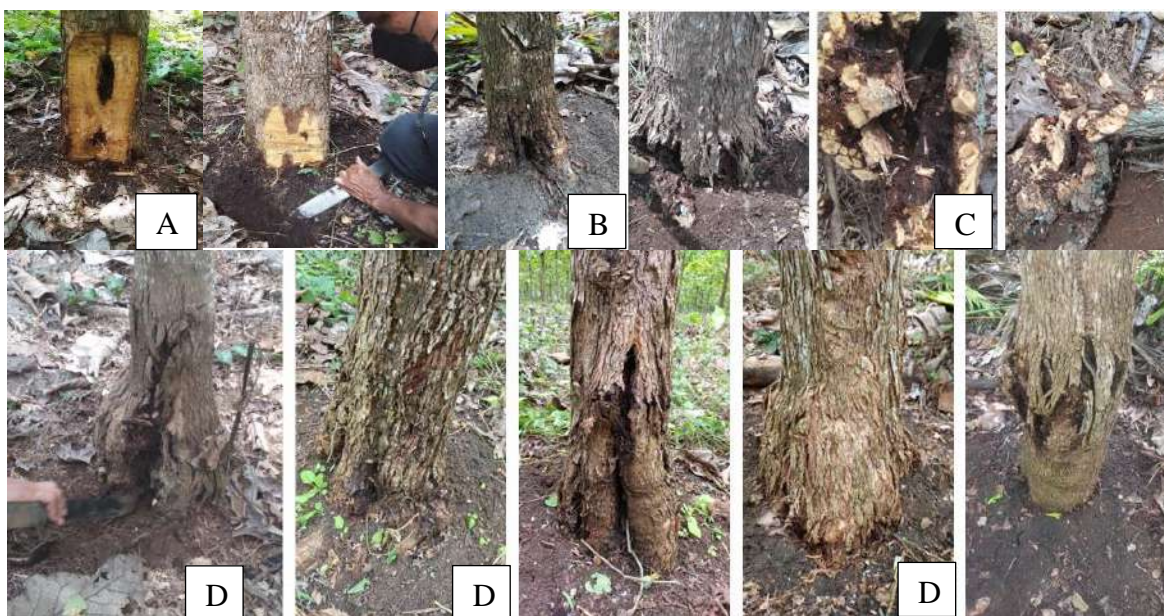
MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio y muestreo.

Las plantaciones de teca evaluadas en esta investigación se localizaron en las comunidades de Reojera (3), La Moneda y Arizal de la provincia de Darién (Mong, 2023). El método de muestreo utilizado en esta investigación es el método de muestreo al azar, que dice que todas las muestras posibles de un determinado tamaño tienen la misma posibilidad de ser elegidas (Maldonado, 2015). Se muestrearon 5 fincas comerciales de teca, con edades entre 2-5 años. Dentro de cada finca, se seleccionaron al azar 4 parcelas de muestreo, con tamaño promedio de 1 hectárea cada una, con una densidad de 625 árboles por hectárea, para verificar la incidencia de la enfermedad y severidad de los síntomas. Los síntomas que se buscaron en cada árbol evaluado correspondieron a lesiones necróticas alargadas deprimidas en diferentes partes del tallo, rajaduras con necrosis interna de los tejidos en la parte basal de los tallos, hinchazón de la parte basal de los tallos con necrosis interna de tejidos y pudrición basal del tallo con caída y muerte de los árboles; así como la presencia de signos o señales de patógenos. (Figura 1).

**Figura 1**

Lesiones observadas en arboles de teca. A: fisuras o lesiones necróticas alargadas deprimidas, B: cáncer basal, C: pudrición basal del tallo, D: tumorización o hinchazón de la parte basal.

**Análisis de las muestras**

Muestras de tejidos fueron colectadas y sometidas al análisis directo de material fresco; de cada muestra se obtuvo en el laboratorio fragmentos de tejido visiblemente lesionado, que se procedió a cultivar en medio de agar papa dextrosa PDA (extracto de papa 4,0* (equivalente a 200 g de papa en la mezcla), dextrosa 20,0 y agar 15,0) g/l, durante un periodo de siete días, para verificar el crecimiento de colonias y estructuras microscópicas. (Muños, Estrada, León, Barajas, & Molar, 2015)

Evaluación de la severidad de la enfermedad.

Para la evaluación de la severidad de la enfermedad, se utilizó una escala arbitraria de severidad elaborada para esta investigación, que consistió en una escala diagramática de seis niveles, considerando los síntomas y grado de avance en la base del tallo y fuste, contrastándolos con árboles sanos. Este procedimiento se aplicó a cada uno de los árboles con algún síntoma relacionado con la enfermedad y en cada una de las parcelas evaluadas. Figura 2



Figura 2

Escala arbitraria de severidad elaborada para esta investigación.



Prueba de patogenicidad de los aislamientos

Para una identificación definitiva del agente causal de la enfermedad, los aislamientos que resultaron con características similares fueron sometidos a una prueba de patogenicidad en plántones de Teca, cultivados en suelo estéril, con aproximadamente 90 días. En esta prueba se utilizaron discos de micelio obtenidos de cultivos monospóricos en PDA, buscando reproducir los síntomas observados en campo (Cibrián et al. (2014). Los plántones fueron evaluados a los 30, 45 y 60 días después de inoculados y verificados mediante los postulados de Koch. Figura 3.

Figura 3

Estructuras de *Lasiodiplodia* sp. en aislado proveniente de *Tectona grandis* A) Crecimiento micelial de *Lasiodiplodia* sp. con micelio aéreo, inicialmente blancas tornándose gris-olivo a los 7 días, B) conidios de *Lasiodiplodia* sp. A 14 días de crecimiento.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis realizados en las diversas muestras colectadas en campo de las cinco fincas en estudio, el hongo *Lasiodiplodia* sp; fue identificado como responsable de la pudrición de la albura de la teca en sus distintas etapas. Este patógeno produce daños de mancha y pudrición en la madera de los árboles afectados, lo que lo convierte en una amenaza de alto impacto comercial para los inversionistas de teca en la provincia. (Figura 4)

El rango de incidencia de árboles afectados por finca se determinó evaluando el total de los árboles en pie y muertos, identificando aquellos árboles que presentaban algunos de los síntomas descritos con anterioridad, vinculados a la pudrición de la albura de la teca y marcando en una cuadrícula de forma que nos permitiera determinar el patrón de distribución de la enfermedad a nivel de campo, estos resultados variaron entre un 24 y 29%, siendo la finca de Arizal en la que se encontró mayor incidencia con un 28.76% (Figura 5). Mientras que, con relación a la severidad se siguió la escala de severidad arbitraria elaborada para esta investigación, la misma mostró índices que variaron entre 8.42 y 13.37%, siendo la finca de Arizal la que registró el mayor índice de severidad con un 13.37% (Figura 6).

Las pruebas realizadas en el laboratorio confirmaron los postulados de Koch para *Lasiodiplodia* sp. Los clones inoculados mostraron sintomatología visible de marchitez, la necrosis y caída de hojas, quemazón de hojas y finalmente la muerte descendente del tallo. Aislados de *Lasiodiplodia* sp encontrados en los tejidos enfermos de árboles en campo, comprueban que es patogénico en clones de *Tectona grandis* L. f. Estos aislados demuestran que *Lasiodiplodia* sp. es un patógeno invasor que está asociado a la pudrición de la albura de la teca. Los resultados obtenidos coinciden con los hallazgos en trabajos realizados por Ferreira (2014) en Brasil y por Arguedas *et al* (2004) en diferentes regiones de Costa Rica, quienes señalan la incidencia y daño de *Lasiodiplodia* sp, principalmente a nivel del tallo en árboles de teca, sin señalar la edad de estos.

Figura 4

Manchas y pudrición de la albura de Tectona grandis producida por el patógeno Lasiodiplodia sp.





Figura 5
Incidencia de árboles con síntomas de la enfermedad por localidad.

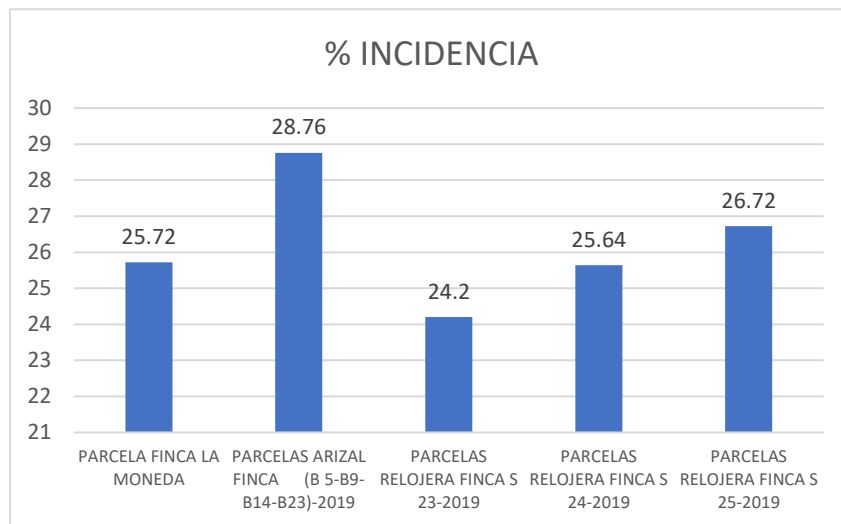
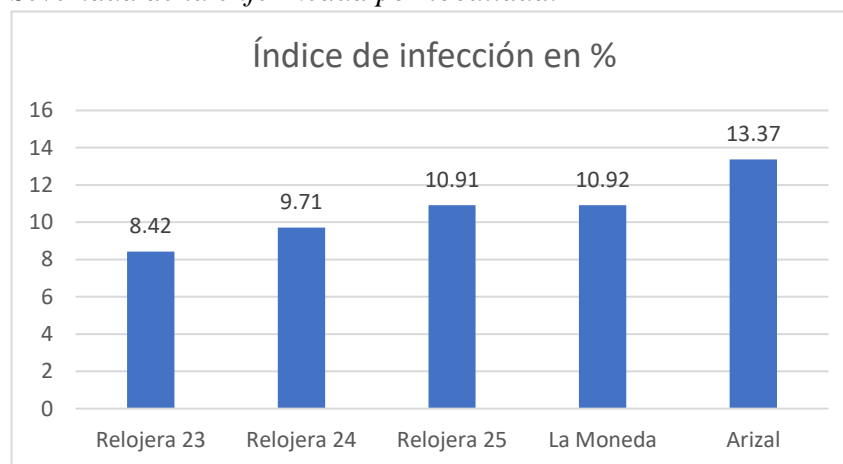


Figura 6
Severidad de la enfermedad por localidad.



CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación permiten concluir que el patógeno responsable de la pudrición de la albura de la teca es *Lasiodiplodia sp.* Esta enfermedad parasitaria fungosa se hospeda en las tecas ocasionando necrosis en la base del tallo, que avanza provocando rajaduras en la región basal y necrosis interna de los tejidos, con pudrición de la albura; síntomas estos que en su fase terminal finalizan con una tumoración de la región basal, muerte y caída del árbol.



La finca con mayor afectación en sus plantaciones fue la finca Arizal en la que se encontró mayor severidad con un 13.37% de incidencia y con un 28.76% de severidad, en comparación con el resto de las fincas estudiadas.

Aislados de *Lasiodiplodia sp.* encontrados en los tejidos enfermos de árboles en campo, comprueban que es patogénico en clones de *Tectona grandis L.f.* Los aislados demuestran que *Lasiodiplodia sp.* es un patógeno invasor que está asociado al síndrome del decaimiento lento de la teca.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrios, G. (1998). *Enfermedades de las plantas ocasionadas por hongos*. México: Limusa.
- Arguedas, M. ; Chaverri, P.; Verjans, J.M. (2004). Problemas fitosanitarios de la teca en Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente. CATIE n.43, Turrialba, Costa Rica.
- Arias, D. C. (2005). síndrome de la mortalidad de la teca en Costa Rica. *scielo*.
- Cibrián Tovar, D., Pérez Vera, O. A., García Díaz, S. E., Medel Ortiz, R., & Cibrián Tovar, J. (10 de julio de (2014).). *Scielo*. (D. d. Chapingo, Ed.) Recuperado el 10 de octubre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000500009
- Ferreira, R.C. (2014). Etiología do cancro da teca e caracterizacão patogénica e molecular de *Lasiodiplodia theobromae*. Universidade de Brasilia. Brasilia, Brasil, 98p.
- Maldonado, J. A. (07 de septiembre de 2015). *issuu*. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de https://issuu.com/joseangelmaldonado8/docs/la_metodologia_de_la_investigacion/150
- Mong, P. (5 de octubre de 2023). Resumen Publico del Plan de Manejo Forestal 2022-2023. (A. Ballesteros, & L. Cortes, Entrevistadores) Panamá, Darién, Santa Fé.
- Muños, P., Estrada, G., León, F., Barajas, S., & Molar, A. (2015). *Lasiodiplodia theobromae* in Agricultural Crops in Mexico: Taxonomy, Host, Diversity and Control. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 54-74.
- Slippers, B. B. (12 de noviembre de 2009). A diverse assemblage of Botryosphaeriaceae infect Eucalyptus in native and non-native environments. *scielo*, Volume 71, 2009 - Issue 2, 101-110. Obtenido de <https://doi.org/10.2989/SF.2009.71.2.3.818> (s.f.).

EL PAPEL Y PERFIL SOCIOECONÓMICO DE LA MUJER EN EL CUIDADO DEL EQUINO EN LA AGRICULTURA DE SUBSISTENCIA EN COCLESITO, COLÓN

THE ROLE AND SOCIOECONOMIC PROFILE OF WOMEN IN THE CARE OF HORSE IN SUBSISTENCE AGRICULTURE IN COCLESITO, COLÓN

*Pile, Edwin. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

edwin.pilem@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-6226-1500>

Warboys, Debbie. World Horse Welfare, Panamá.

DebbieWarboys@worldhorsewelfare.org

<https://orcid.org/0009-0005-7631-3796>

Rosas, Rommel. World Horse Welfare, Panamá.

salud03animal@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-0467-2834>

Bravo, Olga. Universidad de Panamá, Facultad de Medicina Veterinaria, Panamá.

osbfmv@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-3883-251X>

Chang, Andrés. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

andres.chang@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-4776-6794>

Chang, Euribiades. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

euribiades.chang@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-1228-9804>

*Autor de Correspondencia: edwin.pilem@up.ac.pa

Recibido: 18/03/2024

Aceptado: 08/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5179>

RESUMEN. El estudio examina el papel y perfil socioeconómico de la mujer en el cuidado del bienestar equino en la agricultura de subsistencia en Coclesito, Colón. Para la investigación, 99 propiedades familiares fueron visitadas y se llevaron a cabo encuestas semiestructuradas, cubriendo los dominios socioeconómicos y de bienestar animal. Los datos fueron analizados utilizando medidas estadísticas y pruebas T o Chi-cuadrado. Los resultados mostraron que las mujeres rurales tienen un papel crucial en el cuidado y manejo de los equinos en la agricultura familiar en la región. Sin embargo, identificaron brechas en su perfil socioeconómico, conocimiento y capacitación en temas de salud y bienestar animal. Estas barreras pueden afectar el bienestar de los equinos y la calidad de vida de las mujeres. Por lo tanto, se destaca la importancia de implementar medidas y políticas que promuevan un enfoque integral en el cuidado de los animales y el desarrollo sostenible en las comunidades rurales, considerando el papel esencial de la mujer rural y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esto tendría un impacto positivo tanto en los equinos como en la calidad de vida de las personas y el medio ambiente regional.

PALABRAS CLAVE: bienestar animal, equinos, mujer rural, desarrollo sostenible, agricultura familiar.

ABSTRACT. The study examines the role and socioeconomic profile of women in caring for equine welfare in subsistence agriculture in Coclesito, Colón. For the research, 99 family properties were visited and semi-structured surveys were conducted, covering socioeconomic and animal welfare domains. Data was analyzed using statistical measures and T-Tests or Chi-square tests. Results showed that rural women play a crucial role in the care and management of equines in family agriculture in the region. However, they identified gaps in their socioeconomic profile and their knowledge and training in health and animal welfare issues. These barriers can affect the welfare of equines and the quality of life of women. Therefore, the importance of implementing measures and policies that promote a comprehensive approach to animal care and sustainable development in rural communities, considering the essential role of rural women and the Sustainable Development Goals, is highlighted. This would have a positive impact on both equines and the quality of life of people and the regional environment.

KEYWORDS: animal welfare, equines, rural women, sustainable development, family agriculture.

INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual, el bienestar de los caballos utilizados en la agricultura familiar es un tema prioritario debido a diversos factores, como la demanda creciente de productos cárnicos (Bobadilla & Huertas, 2022), los cambios en la carga laboral (Pile, Chang & Chang, 2021), la evolución de las circunstancias socioeconómicas (Escobar, 2019) y el impacto del cambio climático a nivel global (Zaragoza, Guerrero & García Pinillos, 2019). Los equinos representan una importante fuente de trabajo y subsistencia para muchas familias que se dedican a la agricultura familiar en distintas partes del mundo (Moretti, Perrone & Dasein, 2020). Sin embargo, su cuidado y manejo adecuado a menudo se ve comprometido por diversas barreras, como la falta de educación y recursos (Velásquez, 2019), y la desigualdad de género en el acceso a oportunidades y empoderamiento en las comunidades rurales (Hernández, 2023).

Es en este contexto donde la mujer rural juega un papel fundamental en el desarrollo sostenible y el bienestar equino. Se ha demostrado que las mujeres rurales son responsables de una gran parte del cuidado y manejo de los animales en la agricultura familiar, sin embargo, a menudo no cuentan con una participación equitativa en la toma de decisiones y acceso a recursos y educación (Bobadilla & Huertas, 2022; Pile et al., 2021). Esta brecha de género no solo afecta a la mujer rural en su empoderamiento y bienestar, sino que también tiene un impacto directo en el bienestar de los equinos que dependen de ellas para su cuidado.

Es por ello por lo que la implementación de políticas y medidas que mejoren la alimentación, salud, cuidados y bienestar de los equinos en el marco de la agricultura familiar resulta esencial para lograr un equilibrio entre el manejo responsable de los animales, la protección del medio ambiente y el desarrollo socioeconómico en la comunidad (Hernández, 2023; Quiroga, 2021). Además, es crucial proveer educación sobre el adecuado manejo y cuidado de los animales a hombres y mujeres por igual, abordando así la falta de conocimiento y la desigualdad de género en el tema, y promoviendo un acceso equitativo a recursos y empoderamiento para las mujeres rurales.

En esta línea, es importante destacar la importancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la mejora del bienestar equino en el contexto de la agricultura familiar. Estos objetivos, establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), buscan abordar de manera integral los desafíos mundiales en temas como la pobreza, la igualdad de género, la educación y el cuidado del medio ambiente, y enfatizan la importancia del desarrollo sostenible en la sociedad (Benalcázar, 2021). Por lo tanto, es sumamente relevante considerar los ODS en la evaluación del bienestar animal y en el diseño de medidas y políticas para mejorar la situación de los equinos en ese ambiente.

Así pues, resulta fundamental profundizar en la investigación del bienestar equino en el ámbito de la agricultura familiar, teniendo en cuenta el papel esencial de la mujer rural y la implementación de los ODS en la protección y cuidado de estos animales. Identificar las brechas existentes en el bienestar equino y proponer soluciones prácticas y sostenibles para mejorar la situación actual no solo beneficiará a los animales, sino también a las comunidades y al medio ambiente en general.

En este sentido, este trabajo busca contribuir a esta importante discusión y promover un enfoque integral para el cuidado y bienestar de esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este estudio fueron recolectados en propiedades familiares ubicadas en Coclesito, una zona agrícola en el distrito Especial Omar Torrijos Herrera, en la provincia de Colón, Panamá. Un total de 99 propiedades fueron visitadas entre febrero y noviembre de 2022 para llevar a cabo encuestas semiestructuradas, previa obtención del consentimiento informado por parte de los sujetos de estudio. Dichas encuestas cubrieron los dominios socioeconómicos y de bienestar animal (Barbosa et al., 2016), y se llevaron a cabo en persona. Cabe mencionar que, en el caso de las mujeres, su participación solo fue posible si algún miembro de su hogar poseía un équido de trabajo. Con el fin de mantener el anonimato, a cada sujeto fue asignado un número identificador (ID) al momento de la encuesta. Los datos recopilados fueron transcritos a una planilla Excel sin realizar modificaciones posteriores. Finalmente, para describir y comparar los datos, se utilizaron medidas estadísticas de tendencia central y de variabilidad, así como frecuencias de cada variable. Asimismo, se llevaron a cabo pruebas T o Chi-cuadrado ($p < 0.05$) para analizar y contrastar la información. Todo el proceso de análisis de los datos se realizó en el ambiente de computación estadística R (R Core Team, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados en la Tabla 1 revelan que las mujeres encargadas del cuidado de caballos en la región de Coclesito tienen un perfil socioeconómico caracterizado por ser en su mayoría de mediana edad (35 años aprox.), con un ingreso semanal limitado (B/. 4.30/semana) y un nivel educativo bajo. Estas mujeres suelen trabajar en propiedades rurales de tamaño medio (15 ha aprox.) y cuidan de más de dos caballos, a menudo con la ayuda de otras mujeres en su comunidad.

En términos de estado civil, la mayoría se encuentra en una relación de pareja (81%), lo que podría ser una fuente de apoyo en el contexto de la agricultura familiar. Sin embargo, se observó que no tienen acceso a créditos para mejorar sus actividades productivas, lo que puede limitar su potencial de crecimiento económico.

Aunque muchas tienen acceso a servicios esenciales, aún existe un porcentaje considerable que carece de ellos (36%). Además, se observó que muy pocas han realizado mejoras en sus viviendas en el último año (22%), a pesar de que un alto porcentaje vive en condiciones precarias. La falta de apoyo externo para mejorar su situación también se refleja en el bajo porcentaje de mujeres que han recibido ayuda en el último año (2%).

La educación de los hijos de estas mujeres es una muestra de progreso en el contexto de la agricultura familiar (93%). Sin embargo, se debe enfatizar en la importancia de programas y políticas que mejoren sus condiciones de vida y trabajo, brindando acceso a crédito, apoyo en la mejora de viviendas y promoviendo la educación de sus hijos. Esto permitirá un avance en su estatus social y económico, contribuyendo a una mayor equidad en el sector agrícola.

Las mujeres desempeñan un papel crucial en el cuidado y manejo de los equinos en la región de Coclesito, donde predominan las actividades de agricultura familiar. Este hallazgo coincide con investigaciones similares realizadas en otras regiones, que también han demostrado que las mujeres suelen ser las responsables de cuidar a los animales en estas comunidades (Pile et al., 2021; Tuemmers et al., 2019). Por lo tanto, es evidente que las mujeres tienen un papel importante en la sostenibilidad de la producción animal en áreas rurales. Sin embargo, también se ha evidenciado la carencia de conocimiento y capacitación en temas de salud y bienestar animal en esta región, lo que puede afectar negativamente la calidad de vida de las comunidades locales.

Tabla 1

Perfil socioeconómico de las mujeres responsables del bienestar equino en el contexto de la agricultura familiar en la región evaluada

Variables Continuas					
Parámetro	Promedio	IC95%	df	Valor de t	Valor de p
Edad de la responsable	34.97	32.74 - 37.20	98	31.14	< 2.2e-16
Cuánto gana por semana	4.30	1.77 - 6.82	98	3.37	0.00106
Número de equinos que Ud. cuida	2.52	2.20 - 2.84	98	15.65	< 2.2e-16
Número de mujeres que participan/ayudan	1.25	1.152 - 1.35	98	24.83	< 2.2e-16
Tamaño de la finca (Hectáreas)	14.46	11.81 - 17.12	97	10.81	< 2.2e-16
Tiene hijos	2.57	2.19 - 2.96	98	13.33	< 2.2e-16
Variables categóricas					
Parámetro	Valores registrados (F) (%)	Valores esperados (%)	Df	Chi cuadrado	Valor de p
Tiene acceso a crédito	No (98) (98.9%) sí (1) (1.01%)	no (50) sí (50)	1	95.04	< 2.2e-16
Nivel de educación	Analfabeto (7) (7.07%), Primaria (79) (79.8%), Secundaria (11) (11.11%), Universitaria (2) (2.02%)	Analfabeto (25), Primaria (25), Secundaria (25), Universitaria (25)	3	160.19	< 2.2e-16
Tiene otro trabajo	No (95) (95.96%) sí (4) (4.04%)	no (50) si (50)	1	83.65	< 2.2e-16
Estado marital	Casada (6) (6.06%), soltera (10) (10.1%), unida (81) (81.82%), viuda (2) (2.02%)	casada (25), soltera (25), unida (25), viuda (25)	3	171.75	< 2.2e-16
Tipos de servicios	No (36) (36.36%) sí (63) (63.63%)	no (50) sí (50)	1	7.36	0.006656
Forma de pago	No paga (64) (64.65%) Paga (35) (35.35%)	No paga (50) Paga (50)	1	8.49	0.003561
Disponibilidad de recursos	Con energía eléctrica (4) (4.04%) Sin energía eléctrica (95) (95.96%)	Con energía eléctrica (50) Sin energía eléctrica (50)	1	83.64	< 2.2e-16



Emplea a alguien para que le ayude	No tiene (96) (96.97%) Son familiares (3) (3.03%)	No tiene (50) Son familiares (50)	1	87.36	< 2.2e-16
Si los tienes, van a la escuela	No (6) (66.06%) Sí (93) (93.94%)	No (50) Sí (50)	1	76.45	< 2.2e-16
Si van a la escuela, cómo se transportan hasta allá	A Caballo (10) (10.01%), A Pie (61) (61.62%), A Pie y Caballo (2) (2.02%), Sin necesidad (26) (26.26%)	A Caballo (25), A Pie (25), A Pie y Caballo (25), Sin necesidad (25)	3	82.86	< 2.2e-16
Si van en transporte público, quién paga el pasaje	No usan (96) (96.97%) Papá (3) (3.03%)	No usan (50) Papá (50)	1	87.36	< 2.2e-16
En el último año, le ha hecho algún arreglo a su vivienda	No (77) (77.78%) Sí (22) (22.22%)	No (50) Sí (50)	1	30.56	3.244e-08
Ha recibido alguna ayuda	No (97) (97.98%) Sí (2) (2.02%)	No (50) Sí (50)	1	91.16	< 2.2e-16
Ayuda	No (99) (100%)	No (99)	0	0	1
Préstamo	No (99) (100%)	No (99)	0	0	1

En cuanto al conocimiento y experiencia en el cuidado de los caballos (Tabla 2), se encontró que la mayoría de ellas posee una amplia trayectoria en esta tarea, con un promedio de 13.8 años. Asimismo, se resalta que tienen cierto nivel de conocimiento en la materia, aunque una proporción no ha recibido capacitación especializada en salud y bienestar equino (38%).

La dieta de los animales se limita exclusivamente a pasto (88%), y se ha notado una gran dificultad en la comprensión de la importancia de una dieta balanceada para su bienestar. En caso de enfermedad, la mayoría opta por no hacer trabajar a sus caballos (95%), aunque solo una minoría tiene conocimientos para tratar sus lesiones (19%).

Tabla 2

Resultado del análisis estadístico de las variables relacionadas con el bienestar equino en el contexto de la agricultura familiar en la región evaluada.

Variables continuas

Parámetro	Promedio	IC95%	df	Valor de t	Valor de p
Hace cuanto tiempo cuida de sus animales (En años)	13.81	12.03 - 15.58	98	15.42	< 2.2e-16
A qué tiempo amansa su caballo	2.73	2.60 - 2.87	97	40.23	< 2.2e-16
¿Cuántos días a la semana limpia los cascos de su equino?	0.26	0.16 - 0.36	98	5.16	1.313e-06
2 cascos afectados	0.15	0.080 - 0.22	98	4.18	6.265e-05



4 cascos afectados	0.09	0.03- 0.15	98	3.13	0.0023
3 cascos afectados	0.02	-0.008 - 0.048	98	1.42	0.1584

Variables categóricas

Parámetro	Valores registrados (%)	Valores esperados (%)	df	Chi cuadrado	Valor de p
Conoces que es bienestar equino	control (1) (1.01%) cuidado (46) (46.46%) no (25) (25.25%) prevención (27) (27.27%)	control (24.75) cuidado (24.75) no (24.75) prevención (24.75)	3	41.24	5.809e-09
Has recibido capacitación en salud y bienestar equino	no (38) (38.38%) sí (61) (61.61%)	no (49.5) sí (49.5)	1	5.34	0.0208
Te gustaría recibir capacitación en cuidados de equipos	no (2) (2.02%) sí (97) (97.97%)	no (49.5) sí (49.5)	1	91.16	< 2.2e-16
El caballo es tu medio de transporte para eventos sociales o familiares	no (2) (2.02%) sí (97) (97.97%)	no (49.5) sí (49.5)	1	91.16	< 2.2e-16
¿Quién cuida a tu caballo además de tí?	Familia (53) (53.53%) Otros/Nadie (46) (46.46%)	Familia (49.5) Otros/Nadie (49.5)	1	0.50	0.4817
¿Qué come tu caballo?	maíz y pasto (4) (4.04%) pasto (88) (88.89%) pasto y alimento (7) (7.07%)	maíz y pasto (33) pasto (33) pasto y alimento (33)	2	137.64	< 2.2e-16
¿Cuándo su caballo enferma lo hace trabajar?	algunas veces (3) (3.03%) no (95) (95.96%) sí (1) (1.01%)	algunas veces (33) no (33) sí (33)	2	174.79	< 2.2e-16
Reconoce cuando su caballo tiene cólico	no (23) (23.23%) sí (76) (76.77%)	no (49.5) sí (49.5)	1	28.37	1e-07
Sientes empatía con tu caballo enfermo	no (12) (12.12%) sí (87) (87.88%)	no (49.5) sí (49.5)	1	56.82	4.78e-14
Sabe curar lesiones de su caballo	no (89) (89.90%) sí (10) (10.10%)	no (49.5) sí (49.5)	1	63.04	2.025e-15
¿Cuántas veces a la semana revisa el estado físico de su caballo?	dos veces a la semana (20) (20.20%) más de dos veces a la semana (5) (5.05%) ninguna (9) (9.09%) una vez a la semana (64) (64.65%)	dos veces a la semana (24.5) más de dos veces a la semana (24.5) ninguna (24.5) una vez a la semana (24.5)	3	89.84	< 2.2e-16
Actividades que no puede realizar si no tiene el animal	Alimentar a la familia (22) (22.22%) Escuela (18) (18.18%) Ingresos (19) (19.19%) Otras actividades (1) (1.01%) Revisar ganado (8)	Alimentar a la familia (14) Escuela (14) Ingresos (14) Otras actividades (14) Revisar ganado (14) Transporte (14) Venta (14)	6	26.50	0.0001792



	(8.08%) Transporte (10) (10.10%) Venta (21) (21.21%)				
Sabe limpiar los cascos	No (74) (74.75%) Sí (25) (25.25%)	No (49.5) Sí (49.5)	1	24.25	8.45e-07
Cuenta con limpia cascos	No (90) (90.91%) Sí (9) (9.09%)	No (49.5) Sí (49.5)	1	66.27	3.927e-16
Sabe reconocer la condición corporal de su equino	no (14) (14.14%) sí (85) (85.86%)	no (49.5) sí (49.5)	1	50.92	9.625e-13
Sabe reconocer cuando su equino está enfermo	No (48) (48.48%) Sí (51) (51.52%)	No (49.5) Sí (49.5)	1	0.09	0.763
Si su equino está saludable, genera beneficios para su dueño	No (8) (8.08%) Sí (91) (91.92%)	No (49.5) Sí (49.5)	1	69.59	< 2.2e-16
Usa arneses con los cuales se evitan lesiones	No (34) (34.34%) Sí (65) (65.66%)	No (49.5) Sí (49.5)	1	9.71	0.001836
Reconoce cualquier signo de enfermedad ocular como opacidad, pérdida del ojo, ojo cerrado o semicerrado, inflamación del tercer párpado o conjuntiva, absceso, úlceras, lesiones, deformidades del ojo o su alrededor o hemorragia visible	No (98) (98.99%) Sí (1) (1.01%)	No (49.5) Sí (49.5)	1	95.04	< 2.2e-16

Por lo tanto, es esencial implementar programas educativos que pongan énfasis en la promoción de buenas prácticas de cuidado animal y que fomenten la adquisición de conocimientos y habilidades en temas de salud y bienestar equino. Esto no solo garantizará una mejor calidad de vida para los animales, sino que también mejorará la calidad de vida de las mujeres que dependen de ellos para su sustento. Además, mejorará la producción animal y, por ende, la sostenibilidad de las comunidades rurales.

En cuanto al perfil socioeconómico de estas mujeres, se identificó un patrón común de bajos niveles educativos y limitados ingresos. Estos resultados están en línea con los hallazgos de Moretti et al. (2020), quienes también han encontrado bajos niveles de educación y bajos ingresos en mujeres rurales encargadas del cuidado de equinos. Además, se destacó la falta de acceso a servicios básicos y mejoras en la vivienda, lo que coincide con los estudios de Escobar (2019) y Sánchez (2022) que señalan una ausencia de apoyo externo en estas comunidades.

En relación con el conocimiento y experiencia en el cuidado equino (Tabla 2), se encontró que las mujeres tienen una amplia experiencia en esta tarea, pero carecen de capacitación específica en temas de salud y bienestar animal. Este resultado también es compartido por Benalcázar (2021), quien ha evidenciado que la falta de educación y capacitación en este tema es una barrera para mejorar el bienestar de los equinos en el contexto de trabajo.

Asimismo, los resultados de la Tabla 2 revelaron que la dieta de los caballos se basa principalmente en pasto y que muchas mujeres no comprenden la importancia de una dieta balanceada para la salud de los animales. Estos hallazgos son consistentes con los de Bobadilla y Huertas (2022), que

también han encontrado una falta de conocimiento en temas de nutrición equina en mujeres rurales encargadas del cuidado de los animales.

En términos de acceso a crédito, se observó que solo un pequeño porcentaje de mujeres tiene acceso a esta herramienta para mejorar sus actividades productivas. Este resultado coincide con el de Hernández (2023), que han encontrado que el acceso limitado a créditos es una limitante para el desarrollo económico de las mujeres rurales en la agricultura familiar.

Otro aspecto importante que surgió en este estudio fue la estrecha relación entre el bienestar animal y la calidad de vida de estas mujeres. Se observó que muchas de ellas viven en condiciones precarias, lo que afecta su calidad de vida y, por ende, el bienestar de los animales a su cargo. Esto resalta la importancia de adoptar un enfoque integral que aborde tanto el bienestar animal como el bienestar de las personas en el contexto de la agricultura familiar (Barbosa et al., 2016; García Pinillos et al., 2016; Zaragoza et al., 2019).

Por último, es importante destacar la relevancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la mejora del bienestar equino en el marco de la agricultura familiar (Quiroga, 2021). Estos resultados muestran una clara relación entre estos objetivos y la situación actual de las mujeres encargadas del cuidado de los caballos en Coclesito. Por lo tanto, se destaca la necesidad de implementar políticas y medidas que promuevan un enfoque integral y sostenible en el cuidado de los animales y el desarrollo de las comunidades rurales.

CONCLUSIONES

En este estudio se ha evidenciado el papel crucial de la mujer rural en el cuidado y manejo de los equinos en la agricultura familiar en la región de Coclesito, Colón. Sin embargo, se identificaron brechas en su perfil socioeconómico, conocimiento y capacitación en temas de salud y bienestar animal. Estas barreras pueden afectar directamente el bienestar de los equinos y la calidad de vida de estas mujeres. Por lo tanto, se resalta la importancia de implementar medidas y políticas que promuevan un enfoque integral en el cuidado de los animales y el desarrollo sostenible en las comunidades rurales, tomando en cuenta el papel esencial de la mujer rural y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esto no solo mejorará la situación de los equinos en la agricultura familiar, sino también la calidad de vida de las personas y el medio ambiente en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, T., Jaramillo, C. y Arias, M. (2016). Evaluación del bienestar animal en caballos, mulares y asnales, que son fuente de sustento familiar en Antioquia, Colombia (Tesina de pregrado en Medicina Veterinaria). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Benalcázar, J. (2021). Evaluación de bienestar animal en equinos de trabajo de la Reserva Geobotánica Pululahua de la provincia de Pichincha. Quito: UCE
- Bobadilla, P. E. y Huertas, S. M. (2022). V Encuentro Internacional de Investigadores en Bienestar Animal. 14 y 15 de noviembre de 2022 Montevideo-Uruguay.

- Escobar, D. M. (2019). Empoderamiento y educación social de mujeres y líderes comunitarias. *Educación social: Revista de intervención socioeducativa*, 72, 151-166
- García Pinillos, R., Appleby, M.C., Manteca, X., Scott-Park, F., Smith, C., & Velarde, A. 2016. One Welfare - a platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Records* 179, 412–413. <https://doi.org/10.1136/vr.i5470>.
- Hernández, M. A. (2023). Implementación de sistemas silvopastoriles para el mejoramiento de los parámetros productivos, reproductivos y ambientales para el ganado doble propósito de la finca el paraíso ubicado en la vereda La Lorena baja del municipio de Villahermosa Tolima. [Proyecto aplicado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55917>
- Moretti, M., Perrone, M. y Dasein, F. (2020). El bienestar animal en equinos según el modelo IPAE. *Revista Calidad de vida y salud*, 13, 184-194.
- Pile, E., Chang, A. y Chang, E. (2021). Bienestar equino y su relación con la calidad de vida de familias rurales en Panamá. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4(1), 51-71.
- Quiroga, A. C. (2021). Contribución de los ODS 10.3 y 17. 17 en las líneas estratégicas del plan de desarrollo del municipio de Zipaquirá vigencia 2020-2024. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/40184>.
- 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/>.
- Sánchez, A. (2022). Formulación de la política pública municipal de bienestar animal de Tocaima 2022-2037. (Tesis de maestría). Universidad Antonio Nariño, Facultad de Medicina Veterinaria, Bogotá. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7411>
- Tuemmers, C., Mora, C., Quezada, G., Saldivia, A. y Venegas, O. (2019). Evaluación de parámetros de bienestar animal en equinos de tiro de comunidades indígenas Mapuche en la Región de la Araucanía, Chile. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), 569-579. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Velásquez, B. L. (2019). Análisis de la sostenibilidad utilizando indicadores de la metodología MESMIS en unidades productivas ovinas de la subregión oriente o metropolitana y suroriental del Departamento de Norte de Santander. (Tesis de maestría). Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, San José de Cúcuta – Norte de Santander.
- Zaragoza, F. M., Guerrero, F. F. y García, S. V. (2019). One health: Cambio climático, contaminación ambiental y el impacto sobre la salud humana y animal. Amazing Books.



EFECTOS DE LOS AMINOÁCIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

EFFECTS OF AMINO ACIDS ON CROP PRODUCTION

* *Rolando I., Corella Caballero.* Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Panamá. rolando.corella@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0003-0122-0358>

Dayane, Littig Barker C. Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. dayanelittig@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0002-0399-160X>

Fernando G., Gálvez Cerrud. Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Panamá. fernando.galvez@up.ac.pa. <https://orcid.org/0009-0000-5138-1753>

*Autor de Correspondencia: rolando.corella@up.ac.pa.

Recibido: 27/02/2024

Aceptado: 20/05/2024

DOI <https://doi.org/10.48204/j.ia.v6n2.a5180>

RESUMEN. El manejo de cultivos es una actividad cambiante y dinámica, que involucra desde el uso de cultivares adaptados, hasta el uso de productos estimulantes que ayuden a la planta a tolerar condiciones estresantes. Factores bióticos en los agroecosistemas pueden generar desafíos y afectar significativamente la productividad de los cultivos; y el uso de aminoácidos puede ayudar a minimizar estos efectos negativos. Los aminoácidos potencializan procesos biológicos de interés agronómico, dando a los cultivos diferentes niveles de resiliencia ante condiciones estresantes, como las altas temperaturas, deficiencia hídrica, alta radiación solar, y salinidad. Sin embargo, aún existe escasez de información y falta de difusión objetiva con fundamento científico sobre los efectos, beneficios y eficiencia de estos productos. La aplicación de aminoácidos en cultivos puede ser foliar o en el riego por goteo, esta práctica economiza energía en la planta, que puede ser translocada hacia los sumideros, beneficiando la productividad. Además, favorece la síntesis de compuestos o enzimas de extrema importancia que confieren plasticidad ante altas temperaturas. Los efectos de los aminoácidos son amplios, por lo que, en esta revisión se sintetiza la información y se discute desde una perspectiva agronómica, con soporte fisiológico y del metabolismo de cultivos. Se espera que esta revisión pueda contribuir a desvendar el papel de los aminoácidos con sentido práctico, como referencia para profesionales en el manejo de sistemas agrícolas y para el área de la investigación agronómica.

PALABRAS CLAVE: bioestimulantes, glicina-betaína, aminoácidos en plantas, estrés abiótico, productividad de cultivos, manejo agronómico.

ABSTRACT. Crop management is a changing and dynamic activity, which involves from the use of adapted cultivars to the use of stimulants products which help the plant tolerate stressful conditions. Abiotic factors in agroecosystems can generate challenges and significantly affect crop productivity; and the use of amino acids can help minimize these negative effects. Amino acids enhance biological processes of agronomic interest, giving crops different levels of resilience against stressful conditions such as high temperatures, drought conditions, high solar radiation, and salinity. However, is a lack of information and an objective dissemination with a scientific basis about the effects, benefits and efficiency of that products. The application of amino acids in crops can be spray or by drip irrigation, this practice saves energy in the plant, which can be transferred to the sinks, benefiting productivity. Furthermore, it also benefits the synthesis of extremely important compounds or enzymes, which provide plasticity at high temperatures. The effects of these substances are extensive, which in this review, interesting information is synthesized, as well as discussed from an agronomic perspective, with physiological support and crop metabolism. It is hoped that this review can contribute to unraveling the role of amino acids in a practical sense, as a reference for professionals in the management of agricultural systems and for the area of agronomic research.

KEYWORDS: biostimulants, glycinebetaine, plant's amino acid, abiotic stress, crop yield, agronomic management.



INTRODUCCIÓN

Los cultivos agrícolas actualmente son afectados de forma común por eventos climáticos u otros factores ambientales a un nivel estresante, al punto de disminuir su productividad, calidad y rentabilidad. Ante este desafío se torna vital la implementación de nuevas prácticas de manejo como alternativas adicionales a las que tradicionalmente son usadas, basadas en tecnologías que busquen garantizar el óptimo crecimiento y desarrollo de los cultivos.

La utilización de compuestos sintéticos homólogos a los producidos naturalmente por las plantas, que pueden regular eventos fisiológicos son una alternativa estratégica para los agricultores. Entre estos compuestos, los aminoácidos han ganado un importante reconocimiento.

Los aminoácidos son las unidades básicas que forman proteínas (Guo et al., 2021) y también compuestos funcionales como antioxidantes, enzimas, y otros compuestos esenciales en procesos metabólicos (Taiz y Zeiger, 2006). De forma general, los aminoácidos poseen una estructura molecular en común, siendo un carbono central, unido a un grupo carboxilo (COOH), un grupo amino (NH₂) y un radical "R" (Castro et al., 2017).

En vista que los aminoácidos actúan en los procesos morfofisiológicos de las plantas, como precursores de hormonas y enzimas, han estado en desarrollo recientes estudios sobre los efectos de estos compuestos como agentes reductores de estrés y otros beneficios en cultivos (Cao et al., 2015; Castro y Carvalho, 2014; Kawade et al., 2023; Trovato et al., 2021).

Diversos efectos potencializadores de procesos biológicos de importancia fueron obtenidos al utilizar aminoácidos en cultivos: como fuente de nitrógeno (Lambers et al., 2009), como inductores de un efecto mitigador en condiciones de estrés hídrico (Castro et al., 2017), en la mejora de la calidad de uvas (Albuquerque y Dantas, 2010), así como beneficiando la absorción de nutrientes vía foliar (Albuquerque y Dantas, 2010; McCoy et al., 2020; Mertz et al., 2019). Estos pueden inducir resistencia a enfermedades y plagas, al estrés hídrico, estrés por temperatura, y también tener acción intermediaria en la síntesis de fitohormonas (Castro y Carvalho, 2014).

Atendiendo el desafío de proponer alternativas para la agricultura moderna, y considerando que existen factores en variación dinámica que determinan la producción de los cultivos, este estudio de revisión reúne información de la literatura sobre los efectos más comunes de la aplicación de algunos aminoácidos en las plantas cultivadas, con el propósito de contribuir a elucidar la funcionalidad de las vías de absorción, mecanismos de absorción, y el beneficio de estos en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Es importante comprender los mecanismos fisiológicos que subyacen los principales efectos y beneficios observados con la utilización de aminoácidos en el manejo agronómico de los cultivos agrícolas; pues esto ofrece una ventaja competitiva en el uso de las tecnologías de aplicación.

Además, este estudio propone incentivar la implementación de estrategias adecuadas de utilización de algunos aminoácidos, considerando aspectos de importancia, tales como el cultivo, la fase fenológica, el estado nutricional y su estado con relación al ambiente.



MATERIALES Y MÉTODOS

Fue realizada una revisión de literatura en revistas internacionales de diferentes plataformas y bases de datos acerca de los aminoácidos, conceptos, sus beneficios y relación con la agricultura moderna, haciendo hincapié en las posibles vías y mecanismos de acción, y en las oportunidades que esta información puede proporcionar para la agricultura y la investigación.

Este trabajo presenta naturaleza cualitativa. La información presentada fue obtenida por medio de la lectura exploratoria, selectiva, analítica e interpretativa; teniendo como principal criterio de selección los artículos y demás publicaciones cuyos objetivos y resultados pueden brindar soluciones objetivas y prácticas a la agricultura de hoy; además de la consulta de obras con rigor científico (libros y páginas web de organismos internacionales) sobre los fundamentos conceptuales y funcionales de la fisiología de cultivos.

Los autores interpretan y vinculan objetivamente los principales escenarios y resultados descritos por los investigadores citados, con la importancia del uso de los aminoácidos en la agricultura y la investigación agronómica.

En cuanto a los idiomas del material consultado, en mayoría fueron inglés, además de portugués y español.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Comprendiendo el beneficio de los aminoácidos en las plantas cultivadas

1.1- Aminoácidos frente a los desafíos agrícolas

El sector agrícola actual enfrenta grandes desafíos. Las plantas en desarrollo son afectadas por factores variables del ambiente, de naturaleza biótica o abiótica, que muchas veces llevan a los cultivos a condiciones desfavorables (Hayat et al., 2012), pudiendo comprometer la rentabilidad de la producción. Delante de esta realidad se han utilizado diferentes tecnologías para minimizar los efectos negativos y mejorar la productividad. Una alternativa es la aplicación de aminoácidos, que ha mostrado resultados interesantes, siendo cada día más difundida y utilizada; no obstante, es importante conocer las generalidades de su biosíntesis.

En el interior de la planta, la biosíntesis de aminoácidos se da con la producción de una secuencia de compuestos sintetizados a partir del metabolismo del nitrógeno absorbido por las raíces, junto con los carbohidratos procedentes de la fotosíntesis. La fuente de carbono es derivada de la glucosa, a través de su oxidación en la glucólisis, del 2-oxoglutarato o del oxalacetato formados en el ciclo de Krebs o del ácido cítrico; el nitrógeno es obtenido a partir de la glutamina o glutamato, a través de las reacciones de transaminación mediadas por las enzimas aminotransferasas (Taiz et al., 2017).

A nivel industrial la obtención de aminoácidos es realizada principalmente a través de procesos de hidrólisis química o enzimática, a partir de proteínas de origen vegetal o animal (Sun et al., 2024).



Los aminoácidos estructuralmente sirven como unidades básicas para el crecimiento de los cultivos, es decir, como bloques usados para la construcción de proteínas que conforman las células vivas de las plantas (Guo et al., 2021). Las paredes celulares primarias están formadas por proteínas estructurales (glicoproteínas) en casi un 10% del peso seco (Evert, 2013), en consecuencia, el uso de aminoácidos puede traer grandes beneficios debido a que actúan promoviendo un desarrollo adecuado, beneficiando la productividad y la calidad de los productos agrícolas (du Jardin, 2015; Popko et al., 2018).

Los aminoácidos también poseen un carácter funcional. La prolina, por ejemplo, es capaz de beneficiar la estabilización de proteínas y enzimas antioxidantes como resultado de la incidencia de factores adversos, que afectan el equilibrio redox intracelular en plantas (Kaur y Asthir, 2015; Liang et al., 2013), en consecuencia los aminoácidos también pueden ser caracterizados como agentes protectores de cultivos.

En cultivos agrícolas el uso de aminoácidos proporciona un beneficio durante situaciones de estrés, auxiliando procesos de importancia. Bajo este contexto el sector agrícola dispone de información interesante, entre estos:

- Bajo estrés térmico (Tonhati et al., 2020), (Yamamoto et al., 2008).
- Como osmoprotectores en el equilibrio osmótico celular durante el estrés hídrico (Delauney y Verma, 1993), (Gholami Zali y Ehsanzadeh, 2018).
- Apoyando los mecanismos de inactivación de las especies reactivas de oxígeno (ROS): (Barbosa et al., 2014), (Ronsein et al., 2006), (Ozden et al., 2009).
- En el balance energético NADP/ NADPH: (Liang et al., 2013), (Sharma et al., 2011), (Szepesi y Szollosi, 2018), beneficiando las fases fotoquímica y bioquímica de la fotosíntesis y la fijación de carbono, que será destinado para la producción de frutos, lo cual beneficia la productividad de la actividad agrícola.

En un sentido práctico es importante considerar que un factor causante de estrés casi siempre estará relacionado a otro, como es el caso del estrés hídrico y por calor (Wijewardene et al., 2021).

Hace décadas existían controversias con relación al uso de los aminoácidos aplicados de forma exógena en los cultivos. Los estudios realizados con estos compuestos eran pocos (Albuquerque y Dantas, 2010; Castro et al., 2017; Castro y Carvalho, 2014), hoy son recomendados de forma abierta por técnicos y empresas comercializadoras de productos agrícolas, ya sea por aplicación foliar o en el riego por goteo. También han ido en incremento los estudios sobre el uso de aminoácidos en cultivos; algunos de los cuales muestran que estos pueden ser eficientemente absorbidos por vía foliar (Albuquerque y Dantas, 2010; McCoy et al., 2020; Mertz et al., 2019).

La planta bajo estrés señala la biosíntesis natural de solutos osmoprotectores (Taiz et al., 2017), como los aminoácidos L-prolina (Hayat et al., 2012), glicina y alanina (Reis y Lanza, 2023), y esta respuesta requiere de un gasto energético. Tras la aplicación exógena de aminoácidos se aporta una fuente y economía de energía (Claussen, 2005; Funck et al., 2010); que en situaciones de estrés podrá utilizarla para otros procesos fisiológicos de importancia agronómica, como la fotosíntesis, el crecimiento, la floración y la fructificación.



Todos estos efectos en los cultivos traen de manera directa beneficios sobre su estado fisiológico, resultando en un mejor desempeño agronómico, que aunado al uso de cultivares altamente productivos, otras tecnologías y prácticas culturales, beneficia la productividad.

1.2- Vías y mecanismos de absorción de aminoácidos en plantas

Se ha confirmado que los aminoácidos pueden ser absorbidos por el sistema radicular o a través de las hojas, e incorporados al metabolismo de las plantas cultivadas. En experimentos utilizando marcación isotópica con ^{15}N Furuya y Umemiya (2002) observaron su translocación en el cultivo del melocotón, y más tarde Chris Stiegler et al. (2013) lo corroboraron en *Agrostis stolonifera*. Además, por medio de la misma técnica, resultados recientes obtenidos por McCoy et al. (2020) detectaron que en la misma especie el aminoácido glutamato aplicado vía foliar, sigue una ruta de absorción rápida, sirviendo de precursor directo para la síntesis de ácido gamma-aminobutírico (GABA) y prolina, el cual ejerce un importante papel en el uso sostenible del agua, mediante la síntesis de compuestos osmóticos (Mariani y Ferrante, 2017).

La absorción vía foliar de aminoácidos fue sugerida luego de que parámetros de interés agronómico se vieron favorecidos tras su aplicación en uva cultivar Benitaka y en maíz, como observaron Albuquerque y Dantas (2010) y Lima et al. (2009), respectivamente. Según Guo et al. (2021) los aminoácidos actúan como moléculas señalizadoras importantes, regulando el tiempo de florecimiento, la arquitectura radicular, la arquitectura aérea de la planta y la defensa contra el estrés.

Frente a los beneficios que los aminoácidos pueden proporcionar, posibilitando maximizar el potencial productivo agrícola, es fundamental que se conozca sobre las vías y los mecanismos de absorción de estos compuestos, para comprender como pueden ser mejor aprovechados en la actividad agrícola. La forma en que los aminoácidos son absorbidos, la utilización por la planta y las rutas metabólicas en que estos actúan son aspectos de los que aún existen dudas (Castro et al., 2017; Castro y Carvalho, 2014), no obstante, estudios recientes han contribuido a esclarecer estos aspectos.

1.2.1-Absorción vía raíz

La absorción de aminoácidos por la raíz puede ocurrir por dos mecanismos de transporte, el transporte pasivo, en el que la absorción ocurre por flujo y difusión en masa, involucrando transportadores o canales portadores; y el transporte activo, mediante la importación directa del nitrógeno orgánico para las células de la raíz, por medio de los transportadores de aminoácidos acoplados a protones (Fischer et al., 2002; Lee et al., 2007). De acuerdo con Tegeder y Rentsch (2010) cuando se trata de la absorción de los aminoácidos vía raíz, el proceso involucra transportadores específicos y consecuentemente gasto de energía en el transporte de compuestos hacia el interior de las células.

Los aminoácidos son una forma orgánica de nitrógeno, los cuales al ser aplicados vía suelo, pueden ser absorbidos en la rizosfera, y también pueden derivarse de la reducción del nitrato o amonio en las raíces (Näsholm et al., 2009; Reis y Lanza, 2022; Tegeder y Rentsch, 2010). El amonio presente en el suelo o derivado del nitrato, posteriormente será asimilado en aminoácidos por la actividad de la glutamina sintetasa/glutamina-2-oxoglutarato aminotransferasa (Xu et al., 2012).



Cuando los aminoácidos son proporcionados en la rizosfera, estos pasan por vías de transporte intra e intercelular, mediadas por proteínas de membranas denominadas transportadores de aminoácidos (Dinkeloo et al., 2018; Tegeder, 2014; Yang et al., 2020). Se confirmó que varios de estos transportadores son capaces de absorber aminoácidos a partir del medio externo, como puede ser verificado en los estudios de Guo et al. (2020); Hirner et al. (2006); Lee et al. (2007); Lehmann et al. (2011); Perchlik et al. (2014); y Svennerstam et al. (2008).

Gran parte de los transportadores de aminoácidos están localizados en la membrana plasmática, los cuales también pueden transportar otros substratos, principalmente aquellos formados a base de aminoácidos (Yang et al., 2020). Según Perchlik et al. (2014) y Yang et al. (2020), lo que define cuales transportadores funcionan mejor en el proceso de absorción por la raíz depende totalmente del tipo y de la concentración de aminoácidos presentes en la rizosfera.

Para una consulta más detallada sobre absorción y translocación de aminoácidos véase Yao et al. (2020); quienes relatan que aún no es posible explicar todos los aspectos de la absorción de los aminoácidos, pues la actividad de los transportadores en la raíz tiende a variar de acuerdo a las diferentes especies de plantas y las condiciones edafológicas.

Los aminoácidos en las raíces pueden ser transportados a lo largo de las paredes celulares, vía simplasto o apoplasto (Lee et al., 2007). Por la vía simplasto, este proceso ocurre en la epidermis, en el córtex o en la endodermis; inicialmente se mueven desde los pelos radiculares o desde las células epidérmicas en dirección al cilindro vascular, mientras que, paralelamente por la vía del apoplasto, los aminoácidos después de haber sido transportados por la epidermis y el córtex, deben cargarse al simplasto antes de llegar a la endodermis, debido al bloqueo del flujo apoplástico por la presencia de la banda de Caspary. Una vez que llegan a la endodermis, la importación está mediada por un transportador a través del simplasto; y posterior a esto los aminoácidos son traslocados al xilema utilizando proteínas de exportación (Lee et al., 2007; Yao et al., 2020). Sin embargo, todo este viaje que implica la asignación de aminoácidos a diferentes compartimientos celulares requiere del transporte de proteínas especializadas.

Los estudios en raíces de *Arabidopsis* han demostrado que algunos transportadores de aminoácidos, incluyendo el AAP1, ubicados en los extremos y membranas del córtex de la raíz o en las células de la endodermis, están involucrados en el proceso de transporte a través del simplasto (Lee et al., 2007). También Yao et al. (2020) destacaron al menos cinco transportadores en *Arabidopsis* pertenecientes a las familias AAPs (AAP1, AAP3 y AAP5), LHTs (LHT1) y ProTs (PROT2), que juegan un papel importante en la absorción de aminoácidos en las raíces.

El nivel de especificidad de los transportadores de aminoácidos ha sido reportado por (Fischer et al., 2002; Grallath et al., 2005; Lee et al., 2007; Okumoto et al., 2002; Perchlik et al., 2014), relatando que el transportador AAP1 realiza el transporte de glutamato y aminoácidos neutros en concentraciones relativamente altas en el suelo, las ProTs son los principales transportadores de prolina, glicina y ácido aminobutírico; y los LHTs son transportadores de alta afinidad para aminoácidos neutros y ácidos, pudiendo estar involucrados en el transporte de alanina y aspartato en concentraciones bajas y altas. Conocer estas características tiene un potencial importante en la agricultura, pues pueden ser potencializadas en cultivos de interés, mediante la sobreexpresión para lograr una mayor eficiencia de absorción y efectos, por ejemplo Wijewardene et al. (2021)



informan de la sobreexpresión de la enzima Rubisco en arroz y pepino, siendo esta la enzima más importante en el proceso de fijación de carbono.

Dinkeloo et al. (2018) mencionaron importantes transportadores activos de aminoácidos en sus estudios de actualización, destacando también a los transportadores AAP1 y AAP5 en la absorción radicular, junto con el transportador 1 de lisina e histidina (LHT1), LHT6 y el transportador 2 de prolina (ProT2). Los autores afirman además que AAP2 y AAP6 están involucrados en la transferencia xilema-floema, mientras que AAP2, AAP3, AAP5, ProT1, Cationic Amino Acid Transporter 1 (CAT1), CAT6 y CAT9 contribuyen al transporte vía floema y se expresan en los tejidos vasculares. Por otro lado, Svennerstam et al. (2008) sugirieron que LHT1 y AAP5 son los transportadores más importantes del sistema de absorción radicular, ya que juntos respondieron por una mayor proporción de la capacidad de absorción de aminoácidos.

Las proteínas transportadoras participan en varios procesos de transporte de aminoácidos en las plantas, que van desde la absorción desde el ambiente externo, la translocación intracelular e intercelular, la transferencia xilema-floema, el transporte a larga distancia en el floema, hasta la entrega a los órganos sumideros. Además, son esenciales para las diversas funciones fisiológicas y han sido objeto constante de estudios interdisciplinarios (Svennerstam et al., 2008; Yang et al., 2020).

1.2.2-Absorción vía foliar

Dado que los aminoácidos son moléculas de carácter orgánico (Castro et al., 2017; Peixoto et al., 2020; TAIZ et al., 2017), están presentes en forma de solutos como componentes de productos comerciales (Bioestimulantes). Luego de su aplicación por aspersion foliar, para que estos solutos puedan ser absorbidos en la superficie de la hoja, primero deben pasar la membrana cuticular, accediendo así al apoplasto; y luego la membrana celular, para acceder al simplasto (Castro et al., 2017). Después de ingresar a través de la cutícula de la hoja, los aminoácidos pueden ser translocados siguiendo varios mecanismos de transporte mediados por diferentes grupos de transportadores, los cuales están determinados por el sumidero de la planta en sus funciones fisiológicas; ya sea a las células adyacentes o a la carga del floema para los demás órganos, como raíces, brotes, flores, frutos o semillas en desarrollo.

La cutícula o membrana cuticular está formada por compuestos hidrofóbicos, en mayor parte de ceras y cutina; y compuestos hidrofílicos, principalmente polisacáridos (Bahamonde et al., 2018). Esta primera barrera puede ser muy heterogénea en su arquitectura microscópica (Bahamonde et al., 2018; Crang et al., 2018), con áreas que pueden permitir la absorción de agua y solutos (Bahamonde et al., 2018) como los aminoácidos. Además, en la penetración cuticular juegan un papel importante la presencia y densidad de poros acuosos (Schönherr, 2006; Tredenick et al., 2017). Por otro lado, además de la absorción foliar, los aminoácidos pueden ser biosintetizados en los plastidios de las células del mesófilo o en otros compartimientos celulares (Rentsch et al., 2007).

Una vez liberados en el citosol, los aminoácidos se transportan al floema para ser utilizados en el metabolismo de la planta, dentro y entre las células de los órganos sumideros o almacenados en la vacuola (Tegeger, 2012; Tegeger y Hammes, 2018). Los aminoácidos transportados en las células del floema (elementos cribosos y células acompañantes) pueden viajar a través del apoplasto o del



simplasto, dependiendo de la especie de planta y de la presencia y cantidad de plasmodesmos funcionales (Tegeger, 2014). Para ello, las proteínas de transporte ubicadas en la membrana son fundamentales para cargar aminoácidos en los complejos celulares (Dinkeloo et al., 2018; Tegeger, 2012; Tegeger y Hammes, 2018).

Los aminoácidos pueden seguir la vía de transporte a larga distancia desde las hojas a las raíces a través del floema (Hirner et al., 2006; Tegeger y Masclaux-Daubresse, 2018), y también pueden ser asimilados al metabolismo de la célula, mediante su absorción mediada por transportadores como el LHT1 (Lysine Histidine Transporter1) que mostró un importante rol para este proceso (Hirner et al., 2006), identificado por L. Chen y Bush (1997). El LHT1 es un transportador importante presente en las células de las hojas, que suministra al mesófilo los aminoácidos derivados del xilema (Hirner et al., 2006).

A través del floema un transportador de aminoácidos de importancia es el AAP8 (Amino Acid Permease8) o permeasa de aminoácidos (Santiago y Tegeger, 2016), que pertenece al subgrupo de AAP (Yao et al., 2020; C. Zhang et al., 2020). Otros autores justifican que al transportar un amplio espectro de aminoácidos, los transportadores de la familia AAP desempeñan un papel importante en la carga del floema (Santiago y Tegeger, 2016; Tegeger y Ward, 2012).

Sin embargo, aún existen incógnitas sobre las formas de absorción de los aminoácidos para aumentar la eficiencia de su uso en el desarrollo y productividad de los cultivos. Castro et al. (2017) indicaron que para una absorción más eficiente de moléculas como los aminoácidos recomiendan utilizarlos como sustancias complejantes mediante aplicación foliar, junto a micronutrientes.

2. Efectos del uso de aminoácidos en cultivos agrícolas

Como se dilucida previamente, los aminoácidos son parte de la compleja red metabólica y de señalización de importantes mecanismos fisiológicos de las plantas, sus efectos son beneficiosos y contribuyen activamente al aumento de la producción agrícola. Según Tegeger (2012) los estudios que combinan el estado fisiológico de la planta y su interacción con el medio ambiente, permiten una mayor comprensión de los efectos del uso de estos compuestos en el desempeño de la planta, bajo limitaciones de nutrientes y en situaciones de estrés por factores bióticos o factores abióticos.

Los efectos encontrados en la literatura con el uso de aminoácidos son diversos. Entre los principales beneficios se destacan el favorecimiento de procesos biológicos de crecimiento, fotosíntesis, floración, polinización, formación y calidad de frutos, mejora en los procesos de absorción de nutrientes (nutrición con el mínimo gasto energético); además de aumentar la tolerancia de la planta ante situaciones de estrés.

2.1- Desarrollo radicular

Diferentes trabajos han sido realizados para conocer el efecto de la aplicación de aminoácidos. Xia et al. (2014) al estudiar el crecimiento de raíces en arroz (*Oryza sativa*), observaron que el fenotipo de raíz corta es causado por la falta de arginina, ya que la suplementación exógena de este aminoácido favoreció el crecimiento de raíces en individuos mutantes (modificados genéticamente



para carecer de biosíntesis de arginina), mientras que los individuos mutantes que no recibieron arginina mostraron una detención del crecimiento de las raíces.

En otro estudio realizado por Domínguez-May et al. (2013) se evaluaron los efectos de los aminoácidos sobre el crecimiento radicular del pimiento (*Capsicum chinense*) y constataron que la glicina promovió un importante crecimiento de los pelos radiculares, permitiéndole un mayor acceso a recursos del suelo, favoreciendo la captura de agua y nutrientes.

Dosis muy elevadas de aminoácidos también pueden tener un efecto negativo en el desarrollo de las raíces de las plantas. De acuerdo con Jung et al. (2006) las raíces de ginseng em medio con niveles altos de glutamina inhibieron su crecimiento, incluida la formación de raíces laterales; lo que sugiere que puede estar relacionado con los transportadores de nitrato NRT2 que están regulados por aminoácidos/glutamina, reduciendo la absorción de nitratos y afectando el crecimiento de las raíces.

2.2- Mejoras en el crecimiento, fotosíntesis, floración, polinización, formación y calidad de frutos

En un estudio realizado por Khan et al. (2019) se evaluó el efecto de la aplicación individual de L-triptófano, L-glicina y L-metionina en solución nutritiva sobre el crecimiento, rendimiento y fisiología de las plantas de lechuga; y fue observado un efecto beneficioso de la metionina en el rendimiento respecto al crecimiento de las plantas, mayor ancho, superficie, longitud de hojas y de la planta en general.

También Liu et al. (2023) usando metionina en tratamiento postcosecha, en dosis de 0.1 g L⁻¹ en frutos de jujuba (*Ziziphus jujuba* Mill.), retrasaron la pérdida de firmeza, de los sólidos solubles, del ácido ascórbico y del contenido de lignina; también constataron que la metionina redujo el contenido de alanina y fenilalanina, pero aumentó el contenido de glicina en los frutos; aun así no mostró un efecto significativo sobre el contenido total de aminoácidos.

Efectos promisorios en el uso de aminoácidos como la glutamina y la glicina se han reportado en cultivos hortícolas de hoja. Noroozlo et al. (2019) evaluaron la aplicación foliar de glutamina y glicina en diferentes concentraciones sobre hojas de albahaca, y notaron que en dosis de 250 y 500 mg L⁻¹ hubo una mejoría en el peso fresco y seco de los brotes, el área foliar, el valor SPAD del follaje y el contenido de clorofila, adicional hubo un aumento en los niveles de algunos elementos químicos esenciales como el nitrógeno, potasio, magnesio, hierro y zinc en las hojas.

Zhang et al. (2021) confirmaron en sus estudios que una mayor disponibilidad de glutamina puede activar positivamente la expresión de genes reguladores de la floración en el arroz como el NHD1, que define el tiempo de floración y la eficiencia en el uso del nitrógeno. Otros aminoácidos también se consideran esenciales en las etapas del desarrollo floral de las plantas. En estudios con *Arabidopsis*, Mattioli et al. (2018) demostraron que la síntesis de prolina durante las etapas finales del desarrollo de microsporas y granos de polen es necesaria para su desarrollo exitoso y fertilidad. La evaluación de los efectos de la aplicación foliar de diferentes aminoácidos en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) reveló que la aplicación exógena de una mezcla de aspartato y glutamato influyó tanto en el aumento del crecimiento vegetativo de las plantas, como en el aumento de la tasa de asimilación de CO₂ o fotosíntesis líquida (A), demostrando que el efecto simultáneo de los

aminoácidos también fortalece las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis (Alfosea-Simón et al., 2021).

Lo aminoácidos aislados tienen efecto sobre el metabolismo del nitrógeno y la productividad de la soja (*Glycine max* L.), como fue evaluado en campo por Teixeira et al. (2018), encontrando un aumento en la actividad de la nitrato reductasa en tratamientos con aplicación foliar de glicina y glutamato (foliar y semillas), mientras que con aplicación de fenilalanina en semillas la productividad fue 46% mayor que el tratamiento control.

Los cultivos bajo condiciones limitantes sintetizan solutos osmoprotectores para mantener su estado hídrico y equilibrar el balance osmótico (Kahraman et al., 2019; Mariani y Ferrante, 2017; TAIZ et al., 2017), lo que conlleva un gasto de energía que puede ser evitado con la aplicación de aminoácidos como la prolina (Claussen, 2005; Forlani et al., 2019). Además, al utilizarlo como fuente de nitrógeno, auxilia el mantenimiento de la integridad de proteínas al reducir las especies reactivas de oxígeno y creando interacciones fosfo-lipídicas para proteger la membrana celular, teniendo también una acción fundamental en la vitalidad y fertilidad del polen (Biancucci et al., 2015; Claussen, 2005; Forlani et al., 2019; Ozden et al., 2009).

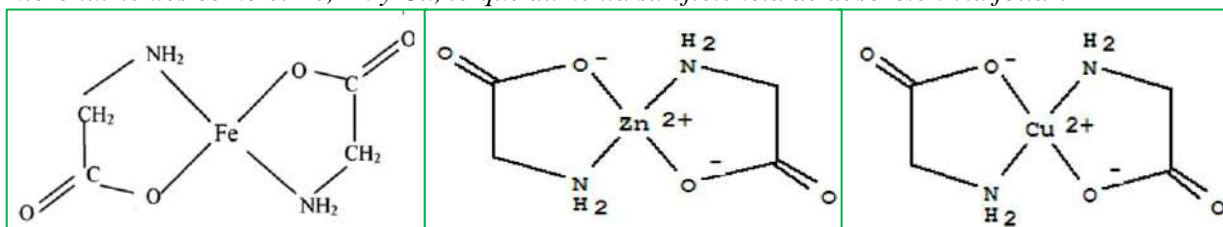
Con la aplicación de aminoácidos podemos beneficiar el desempeño agronómico de los cultivos al proporcionarles todos estos efectos de aporte energético, fuente de nitrógeno, protección ante condiciones de estrés por ROS y fortalecer el proceso reproductivo.

2.3- Mejorando los procesos de absorción de nutrientes y transporte de fotoasimilados

Los aminoácidos son moléculas orgánicas y de bajo peso molecular, y en conjunto con nutrientes minerales, mejoran la eficiencia de absorción y translocación, principalmente de iones inorgánicos micronutrientes como Fe, Mn, B, Cu o Zn, por ejemplo. Esto se fundamenta en el principio de quelación. La quelación ocurre cuando un agente quelante, como los aminoácidos y los iones metálicos forman un enlace (Areche et al., 2023). De esta manera los aminoácidos a nivel molecular forman un aminoquelato (complejo entrelazado con los micronutrientes), neutralizando sus cargas mediante un efecto de cápsula, y protegiéndola de interacciones adversas (Figura 1).

Figura 1

Ejemplos de estructuras moleculares de aminoquelatos. Los aminoácidos forman quelatos con micronutrientes como el Fe, Zn y Cu, lo que aumenta su eficiencia de absorción vía foliar.



Fuente: Adaptado de Jacob et al. (2022).

Por medio de la quelación los aminoácidos forman complejos con micronutrientes, actuando como vehículos para mejorar la eficiencia de absorción y translocación en la planta; ya que de lo contrario, estos minerales al ser de carácter inorgánico, se difundirían con mayor dificultad hacia la planta (Jacob et al., 2022).



En un estudio realizado por Ghasemi et al. (2012) en el cultivo del tomate, se suministró la solución nutritiva con diferentes formas de Fe, a saber: Fe-EDTA, Fe(Arg)₂, Fe(Gly)₂, y Fe(His)₂ los complejos Fe-Arginina, Fe-Histidina y Fe-Glicina, mostrando una mejora en la absorción y translocación de Fe, Zn y N, comparados con el complejo FE-EDTA; lo cual fue corroborado y relacionado con un mayor crecimiento de raíces y brotes, además de la elevada actividad de las enzimas del sistema protector antioxidante CAT y APX.

En el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris*) diferentes formas de Zn en complejos con aminoácidos, revelaron que Zn-Alanina y Zn-Glicina aumentan la disponibilidad de Zn para las plantas, Zn-Alanina mejora la translocación del tallo a la raíz, el crecimiento de las plantas, y el índice fotosintético; el triptófano y la glicina mejoran el nivel de clorofila y carotenoides (Mirbolook et al., 2021).

La absorción de nutrientes es un proceso clave para mejorar la productividad, y puede ser beneficiado con el uso de aminoácidos. La actividad de enzimas involucradas en la asimilación de nutrientes minerales fue mejorada por el uso de prolina exógena en plantas expuestas a la salinidad, además de minimizar los efectos negativos del estrés, según indicaron El Moukhtari et al. (2020). Alfosea-Simón et al. (2021) estudiando los efectos de los aminoácidos en tomate, observaron que la aplicación de L-alanina cambió el estado nutricional de las plantas, aumentando la concentración de K, P y N; lo que lleva a deducir que este aminoácido influyó en la absorción y el transporte de nutrientes.

2.4- Mayor resistencia de las plantas ante situaciones de estrés y respuestas de defensa

Diversas condiciones del ambiente pueden generar estrés en las plantas, y diferentes son las respuestas que éstas expresan para tolerar tales condiciones y sobrevivir.

Está bien documentado que entre los tipos de estrés más comunes actualmente está el estrés hídrico (por carencia de agua causando deshidratación, o por exceso causando hipoxia), estrés por bajas o elevadas temperaturas pueden causar la muerte de órganos de extrema importancia como las hojas y la no fijación o el aborto de flores. También puede suscitarse el estrés por metales pesados o por salinidad.

El estrés por alta radiación solar incidente es muy común, principalmente en los trópicos, donde los rayos solares poseen un mayor ángulo de inclinación. Con el aumento del ángulo de inclinación la intensidad de esta radiación también aumenta (Idowu et al., 2013; Mohamed & Aldobhani, 2014), lo que en las plantas trae consecuencias que van desde el aumento de las especies reactivas de oxígeno, hasta la ocurrencia de escaldaduras por la desnaturalización de estructuras celulares, enzimas y otras moléculas de vital importancia, como la ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco) que en el ciclo de Calvin-Benson inicia la fijación del carbono como componente principal de la productividad y rentabilidad agrícola, o los pigmentos fotosintéticos responsables por la captación de fotones para la fase lumínica de la fotosíntesis.

En particular, las altas temperaturas que se suscitan por el cambio climático a nivel mundial, que afectan el comportamiento fisiológico, y consecuentemente el desempeño agronómico de cultivos tradicionales de importancia, agravan el riesgo de la producción (FAO y ONU, 2021). Tales condiciones causan un aumento en el metabolismo de las plantas, y las afectan también induciendo



la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Hayat et al., 2012; Hu et al., 2020; Yamamoto et al., 2008), y como consecuencia la peroxidación lipídica (TAIZ et al., 2017).

La sobreproducción de ROS es responsable del daño al aparato fotosintético de los cultivos (Bhatla y A. Lal, 2018; Chaves y Oliveira, 2004; Mathur et al., 2014), y a biomoléculas esenciales de extrema importancia como la clorofila y diferentes componentes celulares como membranas, proteínas y ADN (Apel y Hirt, 2004; Liang et al., 2013), lo que en consecuencia puede mermar o reducir la productividad de un cultivo.

Bajo condiciones estresantes, uno de los cultivos mayormente estudiados ha sido el tomate. Uno de los tipos de estrés en los sistemas agrícolas es el estrés salino. Este puede ser causado debido a las condiciones naturales del suelo, sin embargo, el manejo inadecuado con excesivas fertilizaciones nitrogenadas, también puede promover la salinización y/o acidificación de los suelos, comprometiendo la calidad y la productividad (Dias et al., 2006; Han et al., 2015); por lo que es necesario monitorear la solución del suelo (Silva, 2014).

En los agroecosistemas, las condiciones de salinidad, de estrés hídrico por carencia de agua o temperaturas extremas, inciden en las plantas y pueden provocar un desequilibrio hídrico, es decir, una condición osmóticamente desfavorable para los cultivos.

Bajo condiciones de estrés osmótico, la planta reacciona sintetizando diversos compuestos para mantener la regulación osmótica y el equilibrio hídrico, llamados solutos compatibles u osmolitos compatibles (Hossain et al., 2019). Los solutos compatibles son moléculas de carácter orgánico osmóticamente activas en el medio intracelular, que en altas concentraciones no desestabilizan la membrana, ni interfieren con el funcionamiento enzimático (TAIZ et al., 2017).

Los solutos compatibles incluyen moléculas como los azúcares-alcoholes (manitol, sorbitol y trehalosa), aminoácidos como la prolina, los polioles, las poliaminas y compuestos como la glicina-betaína (Giri, 2011; Hossain et al., 2019; TAIZ et al., 2017). El aminoácido prolina regula varios procesos metabólicos afectados, por lo cual en diferentes especies de plantas ha sido considerado un indicador de estrés (Mansour, 2000).

En el cultivo del tomate hidropónico los niveles de prolina libre en las hojas mostraron una correlación negativa con el peso fresco del fruto, lo que indica que el monitoreo oportuno y práctico del estatus hídrico del cultivo en campo, bajo condiciones de estrés, puede ayudar a establecer límites de tolerancia, como medida benéfica para la productividad y la calidad de los frutos (Claussen, 2005).

En condiciones de campo las aplicaciones de prolina vía foliar en la concentración de 10 mg L⁻¹ aumentaron la tolerancia de cultivares de tomate a la salinidad; lo cual fue corroborado por el aumento del contenido de prolina libre, de proteína soluble, y de enzimas de importancia como la glutamina sintetasa y por la disminución de la actividad de la prolina oxidasa (PROX) (Kahlaoui et al., 2018).

En el cultivo de maíz bajo estrés por salinidad, Hamilton y Heckathorn (2001) observaron que los daños al proceso fotosintético, responsable de la fijación de carbono en cultivos, fueron



disminuidos, tras aplicar los antioxidantes ascorbato, glutatona y α -tocoferol, debido a la acción protectora en el complejo I de la cadena de transporte electrónico, y en el complejo II por la aplicación de sacarosa, betaína y prolina.

Entre los aminoácidos importantes que actúan en la respuesta de defensa frente al estrés, Trovato et al. (2021) destacan la prolina, que puede acumularse en la mayoría de especies vegetales en respuesta a diferentes tipos de estrés.

Tonhati et al. (2020) reportaron diversos beneficios de aplicar L-prolina en el tomate cultivado en ambiente protegido, como el alivio del estrés térmico corroborado con la eliminación de ROS, bajos contenidos de peróxido de hidrógeno (indicando baja peroxidación lipídica) y actividad normal de las enzimas del complejo protector antioxidante. Sin embargo, resalta el aumento en la productividad cuando utilizó las concentraciones de 50 a 100 mg L⁻¹ de agua, además de obtener un aumento de la eficiencia en el uso del agua con la dosis de 100 mg L⁻¹.

Entendiendo que los aminoácidos son compuestos fundamentales en la formación de proteínas; algunas involucradas en la respuesta a diferentes tipos de estrés abiótico, Saddique et al. (2022) evaluaron el efecto de los aminoácidos tirosina, prolina, metionina y fenilalanina, en dos cultivares de espinacas frente al estrés por salinidad. Los autores observaron tolerancia al estrés salino en ambos cultivares, atribuida a la inducción de la actividad de compuestos antioxidantes, a un crecimiento vigoroso, lo cual también se relaciona a mejores contenidos de clorofila, mayor acumulación de osmolitos compatibles, mantenimiento del equilibrio iónico y un sistema de defensa antioxidante mejorado.

La leucina es otro de los aminoácidos que ha estado en estudio, por estar involucrado en los mecanismos de defensa de las plantas. Se ha demostrado que la leucina mejora las interacciones proteína-proteína, necesarias para desempeñar la doble función de centinela y activador de la respuesta de defensa en plantas (Jiang et al., 2018; Padmanabhan et al., 2009); lo que sugiere un potencial promisorio de este aminoácido en la producción de cultivos.

Por otro lado, la serina también representa un importante aliado en las respuestas de los cultivos ante el estrés ambiental, ya que es un precursor de auxinas, estimula la síntesis de clorofila y regula el balance hídrico intrínseco (Popko et al., 2018). La serina, a través de la betaína aldehído, colina y etanolamina es convertida en glicina-betaína (GB) en los cloroplastos. La GB es un metabolito secundario de gran importancia, por sus efectos en la tolerancia de las plantas antes situaciones de estrés abiótico (T. H. H. Chen y Murata, 2011; Niu et al., 2023). En adición, Fariduddin et al. (2013) indicaron que en plantas superiores específicamente, la síntesis de GB se da principalmente por la actividad de la enzima colina monooxigenasa (CMO) mediante la oxidación de la colina.

La glicina-betaína al ser un soluto compatible auxilia el potencial osmótico de células vegetales (T. H. H. Chen y Murata, 2011). Se han descrito una amplia variedad de efectos benéficos de la GB de gran importancia; como su acumulación en los cloroplastos, donde resalta en importancia la protección al fotosistema II al estimular la actividad del sistema enzimático antioxidante (Ali et al., 2020).

Aunque en cultivos como el maíz, el tomate, la espinaca, la remolacha azucarera y la cebada se han observado los efectos de la GB; no todas las especies de plantas acumulan este compuesto, lo



que va a depender de si están sometidas a algún nivel de estrés abiótico (T. H. H. Chen y Murata, 2011).

Altas concentraciones de GB (4-40 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco) son acumuladas en especies como la espinaca y remolacha, pero en cultivos como el trigo, el maíz y la cebada; los niveles de GB bajo estrés no son significativos; y no existe acumulación natural en otros cultivos como el arroz, la papa, el tabaco y el tomate; por lo que perspectivas de mejoramiento genético transgénico, a partir de genes de la biosíntesis de GB, son interesantes; ya que se han logrado resultados apreciables en experimentos con *Arabidopsis*, caqui, tabaco, tomate, trigo, arroz y maíz en cuanto a su tolerancia al estrés abiótico (Fariduddin et al., 2013).

Tampoco se ha observado acumulación de GB en berenjena, haciendo necesaria su aplicación exógena (Niu et al., 2023). Para una consulta más amplia sobre especies acumuladoras naturales y especies mejoradas genéticamente para sintetizar GB, y concentraciones de referencia, véase T. H. H. Chen y Murata, (2011) o Fariduddin et al. (2013), respectivamente.

Las plantas con la característica adquirida por transgénesis para la producción de GB producen concentraciones más bajas que las productoras naturales (Fariduddin et al., 2013; Giri, 2011), por esto la aplicación de GB exógena y sus efectos ha sido objeto de estudios.

Se ha observado que condiciones estresantes de salinidad en el cultivo de lechuga, producen efectos nocivos como un aumento en la peroxidación lipídica con contenidos altos en malondialdehído (MDA), aumentos en la permeabilidad de la membrana, en el contenido de Na, en el contenido de H_2O_2 y un aumento general de ácido abscísico; lo que fue mitigado debido al tratamiento con aplicaciones de GB exógena de 0, 5, 10 a 25 mmol L^{-1} , mejorando en general variables del crecimiento y desarrollo de las plantas (diámetro del tallo, número de hojas, altura de las plantas, peso fresco y seco del brote y la raíz), corroborándose con observaciones de mejoría en la conductancia estomática, en los niveles de hormonas como el ácido giberélico, ácido salicílico y el ácido indolacético (específicamente a 10 y 25 mmol L^{-1}), reducción de la peroxidación lipídica (MDA), de los niveles de toxicidad por Na, de la permeabilidad de la membrana y del contenido de H_2O_2 (Yildirim et al., 2015).

Resultados interesantes han sido reportados por Niu et al. (2023) tras un estudio que involucra la aplicación de GB exógena en el cultivo de la berenjena (*Solanum melongena* L.), en el cual se descubrió que 40 mmol L^{-1} de glicina betaína mejoró el crecimiento y el desarrollo de las plantas, al inducir un incremento de los tricomas en el envés de las hojas, del peso fresco y seco de las plantas, de la fotosíntesis líquida, y de la actividad de enzimas de importancia; lo que estuvo acompañado de un aumento de los aminoácidos Glu, Ser, Asp y Fen; también del ácido indolacético endógeno, de una disminución en el contenido de ácido abscísico y un incremento en los parámetros de fluorescencia de la clorofila.

En plantas transgénicas por la inserción del gen codA codificante para la producción de colina oxidasa A que convierte la colina en GB y H_2O_2 , se observó que la translocación de gran parte de la GB se dio en órganos reproductivos como flores, acompañado de un incremento en la ganancia de biomasa y en el rendimiento (Giri, 2011).



La translocación de GB exógena fue estudiada por Park et al. (2006) en plantas de tomate de 7 semanas, con una solución de 20 mM, y observaron que es rápidamente absorbida a través de las hojas, ya que el máximo contenido fue en las hojas al día 1 después de la aplicación foliar, y disminuyó con los días de estudio. En los ápices de brotes y en los botones florales se encontraron los contenidos más altos, y los más bajos en los tallos y en las raíces. Estas observaciones sugieren que la glicina-betaína se absorbe rápidamente, y que su transporte debió haber sido mediado por transportadores a larga distancia a través del floema.

CONCLUSIONES

La naturaleza versátil de los aminoácidos deriva en que la respuesta de las plantas involucre una serie de procesos internos, trayendo beneficios que dependen del manejo y del ambiente del cultivo, o la actividad realizada; por lo que ciertamente podemos lograr resultados como la tolerancia al estrés abiótico por calor extremo, por falta de riego, hasta incrementos en la productividad.

La relación de quelación de los aminoácidos sobre los micronutrientes beneficia su absorción y translocación en la planta, lo que potencializa su acción bioactiva. Esto torna importante el uso de bioestimulantes a base de quelatos de aminoácidos y micronutrientes. Así, el productor puede lograr mejores resultados en sus cultivos.

El conocimiento del manejo de cultivos, integrado con el contexto ambiental (manejo agroecofisiológico) nos brinda las herramientas necesarias para escoger el momento y la vía más conveniente para la aplicación de aminoácidos.

Los aminoácidos son compuestos promisoros para complementar y mejorar los resultados de prácticas agronómicas comunes; beneficiando la productividad, la calidad, y contribuyendo en gran medida al éxito de la actividad agrícola.

El uso de aminoácidos, sus efectos e implicaciones para la agricultura, define una constante intención de responder a los principales problemas con los que se depara el sector agrícola, perspectivas y pronósticos; para garantizar la disponibilidad de alimentos, tecnologías y alternativas de manejo.

Ante la realidad de los eventos climáticos que se han venido suscitando en las últimas décadas, se hace necesario que más estudios sobre los efectos de aminoácidos en diferentes cultivos bajo condiciones de campo, continúen contribuyendo a esclarecer sus efectos y beneficios, además de las vías y los mecanismos fisiológicos involucrados, a fin de enriquecer continuamente el conocimiento sobre las prácticas agrícolas relacionadas que sustentan la producción de alimentos en el mundo.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albuquerque, T., & Dantas, B. (2010). Aplicação foliar de aminoácidos e a qualidade das uvas da cv Benitaka. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa*, 23, 20. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/897007/1/BPD232010ID481.pdf>.
- Alfosea-Simón, M., Simón-Grao, S., Zavala-Gonzalez, E. A., Cámara-Zapata, J. M., Simón, I., Martínez-Nicolás, J. J., Lidón, V., & García-Sánchez, F. (2021). Physiological, Nutritional and Metabolomic Responses of Tomato Plants After the Foliar Application of Amino Acids Aspartic Acid, Glutamic Acid and Alanine. *Frontiers in Plant Science*, 11(January), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.581234>.
- Ali, S., Abbas, Z., Seleiman, M. F., & Rizwan, M. (2020). Interests for Heavy Metal Tolerance in Plants. *Plants*, 9(896), 1–23.
- Apel, K., & Hirt, H. (2004). Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 373–399. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>.
- Areche, F. O., Aguilar, S. V., More López, J. M., Castañeda Chirre, E. T., Sumarriva-Bustanza, L. A., Pacovilca-Alejo, O. V., Camposano Córdova, Y. F., Zea Montesinos, C. C., Quincho Astete, J. A., Quispe-Vidalon, D., Brito Mallqui, C. H., Camayo-Lapa, B. F., Malpartida Yapias, R. J., Corilla Flores, D. D., & Salas-Contreras, W. H. (2023). Recent and historical developments in chelated fertilizers as plant nutritional sources, their usage efficiency, and application methods. *Brazilian Journal of Biology*, 83, 1–13. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.271055>.
- Bahamonde, H. A., Gil, L., & Fernández, V. (2018). Surface properties and permeability to calcium chloride of *Fagus sylvatica* and *Quercus petraea* leaves of different canopy heights. *Frontiers in Plant Science*, 9(April), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00494>.
- Barbosa, M. R., Silva, M. M. de A., Willadino, L., Ulisses, C., & Camara, T. R. (2014). Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciencia Rural*, 44(3), 453–460. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000300011>.
- Bhatla, S. C., & A. Lal, M. (2018). Plant Physiology, Development and Metabolism. In Springer (Ed.), *Plant Physiology, Development and Metabolism*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_32.
- Biancucci, M., Mattioli, R., Forlani, G., Funck, D., Costantino, P., & Trovato, M. (2015). Role of proline and GABA in sexual reproduction of angiosperms. *Frontiers in Plant Science*, 6(september), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00680>.
- Cao, X. C., Wu, L. H., Ma, Q. X., & Jin, Q. Y. (2015). Advances in studies of absorption and utilization of amino acids by plants: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26(3), 919–929.



- Castro, P., & Carvalho, M. (2014). Aminoácidos e suas aplicações na agricultura. In *Série Produtor Rural*. (Vol. 57, p. 58). ESALQ - Divisão de Biblioteca. <http://www4.esalq.usp.br/biblioteca/sites/www4.esalq.usp.br/biblioteca/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR57.pdf>.
- Castro, P., Carvalho, M., Mendes, A. C., & Angelini, B. (2017). *Manual de estimulantes vegetais: nutrientes, biorreguladores, bioestimulantes, bioativadores, fosfitos e biofertilizantes na agricultura tropical* (A. Ceres (ed.)). Agronômica Ceres.
- Chaves, M. M., & Oliveira, M. M. (2004). Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: Prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2365–2384. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh269>.
- Chen, L., & Bush, D. R. (1997). LHT1, a lysine- and histidine-specific amino acid transporter in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 115(3), 1127–1134. <https://doi.org/10.1104/pp.115.3.1127>.
- Chen, T. H. H., & Murata, N. (2011). Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: Mechanisms and biotechnological applications. *Plant, Cell and Environment*, 34(1), 1–20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02232.x>.
- Chris Stiegler, J., Richardson, M. D., Karcher, D. E., Roberts, T. L., & Norman, R. J. (2013). Foliar absorption of various inorganic and organic nitrogen sources by creeping bentgrass. *Crop Science*, 53(3), 1148–1152. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.08.0511>.
- Claussen, W. (2005). Proline as a measure of stress in tomato plants. *Plant Science*, 168(1), 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.07.039>.
- Crang, R., Lyons-Sobaski, S., & Wise, R. (2018). Plant anatomy. In *Nature* (Vol. 278, Issue 5699). <https://doi.org/10.1038/278100b0>.
- Delauney, A. J., & Verma, D. P. S. (1993). Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant Journal*, 4(2), 215–223. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x>.
- Dias, N. D. S., Duarte, S. N., Medeiros, J. F., & Teles Filho, F. (2006). Salinidade e manejo da fertirrigação em ambiente protegido. II: Efeitos sobre o rendimento do meloeiro. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, 11(1808–3765), 376–383. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n3p384-401>.
- Dinkeloo, K., Boyd, S., & Pilot, G. (2018). Update on amino acid transporter functions and on possible amino acid sensing mechanisms in plants. *Seminars in Cell and Developmental Biology*, 74, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.07.010>.
- Domínguez-May, Á. V., Carrillo-Pech, M., Barredo-Pool, F. A., Martínez-Estévez, M., Us-Camas, R. Y., Moreno-Valenzuela, O. A., & Echevarría-Machado, I. (2013). A novel effect for glycine on root system growth of habanero pepper. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 138(6), 433–442. <https://doi.org/10.21273/jashs.138.6.433>.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation.



- Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- El Moukhtari, A., Cabassa-Hourton, C., Farissi, M., & Savouré, A. (2020). How Does Proline Treatment Promote Salt Stress Tolerance During Crop Plant Development? *Frontiers in Plant Science*, 11(July), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>.
- Evert, R. F. (2013). *Anatomia das plantas de Esau meristemas, células e tecidos do corpo da planta* (M. R. Pace, M. das G. Sajo, P. Soffiatti, S. R. Machado, T. M. Rodrigues, & V. Angyalossy (eds.)). São Paulo Blucher. <https://books.google.com.br/books?id=1f6uDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>.
- FAO, & ONU. (2021). *El estado de los recursos de del mundo para tierras y aguas y la agricultura la alimentación - Informe de síntesis 2021*.
- Fariduddin, Q., Varshney, P., Yusuf, M., Ali, A., & Ahmad, A. (2013). *Dissecting the Role of Glycine Betaine in Plants under Abiotic Stress*.
- Fischer, W. N., Loo, D. D. F., Koch, W., Ludewig, U., Boorer, K. J., Tegeder, M., Rentsch, D., Wright, E. M., & Frommer, W. B. (2002). Low and high affinity amino acid H⁺-cotransporters for cellular import of neutral and charged amino acids. *Plant Journal*, 29(6), 717–731. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2002.01248.x>.
- Forlani, G., Trovato, M., Funck, D., & Signorelli, S. (2019). *Regulation of Proline Accumulation and Its Molecular and Physiological Functions in Stress Defence BT - Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives* (M. A. Hossain, V. Kumar, D. J. Burritt, M. Fujita, & P. S. A. Mäkelä (eds.); pp. 73–97). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27423-8_3.
- Funck, D., Eckard, S., & Müller, G. (2010). Non-redundant functions of two proline dehydrogenase isoforms in Arabidopsis. *BMC Plant Biology*, 10, 13. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-70>.
- Furuya, S., & Umemiya, Y. (2002). The influence of chemical. Forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. *Acta Horticulturae*, 594, 97–103. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.8>.
- Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A. H., Hadadzadeh, H., & Jafari, M. (2012). Synthesis of Iron-Amino Acid Chelates and Evaluation of Their Efficacy as Iron Source and Growth Stimulator for Tomato in Nutrient Solution Culture. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31(4), 498–508. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9259-7>.
- Gholami Zali, A., & Ehsanzadeh, P. (2018). Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. *Industrial Crops and Products*, 111(June 2017), 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.020>.
- Giri, J. (2011). Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11), 1746–1751. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17801>.



- Grallath, S., Weimar, T., Meyer, A., Gummy, C., Suter-Grotemeyer, M., Neuhaus, J. M., & Rentsch, D. (2005). The AtProT family. Compatible solute transporters with similar substrate specificity but differential expression patterns. *Plant Physiology*, *137*(1), 117–126. <https://doi.org/10.1104/pp.104.055079>.
- Guo, N., Hu, J., Yan, M., Qu, H., Luo, L., Tegeder, M., & Xu, G. (2020). *Oryza sativa* Lysine-Histidine-type Transporter 1 functions in root uptake and root-to-shoot allocation of amino acids in rice. *Plant Journal*, *103*(1), 395–411. <https://doi.org/10.1111/tpj.14742>.
- Guo, N., Zhang, S., Gu, M., & Xu, G. (2021). Function, transport, and regulation of amino acids: What is missing in rice? *Crop Journal*, *9*(3), 530–542. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.04.002>.
- Hamilton, E. W., & Heckathorn, S. A. (2001). Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, whereas Complex II is protected by proline and betaine. *Plant Physiology*, *126*(3), 1266–1274. <https://doi.org/10.1104/pp.126.3.1266>.
- Han, J., Shi, J., Zeng, L., Xu, J., & Wu, L. (2015). Effects of nitrogen fertilization on the acidity and salinity of greenhouse soils. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*(4), 2976–2986. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3542-z>.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., & Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling and Behavior*, *7*(11). <https://doi.org/10.4161/psb.21949>.
- Hirner, A., Ladwig, F., Stransky, H., Okumoto, S., Keinath, M., Harms, A., Frommer, W. B., & Koch, W. (2006). Arabidopsis LHT1 is a high-affinity transporter for cellular amino acid uptake in both root epidermis and leaf mesophyll. *Plant Cell*, *18*(8), 1931–1946. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.041012>.
- Hossain, M. A., Kumar, V., Burritt, D. J., Fujita, M., & Makela, P. S. A. (2019). *Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives*. (M. A. Hossain, V. Kumar, D. J. Burritt, M. Fujita, & P. S. A. Makela (eds.)). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27423-8_5.
- Hu, S., Ding, Y., & Zhu, C. (2020). Sensitivity and Responses of Chloroplasts to Heat Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science*, *11*(April), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00375>.
- Idowu, O. S., Olarenwaju, O. M., & Ifedayo, O. I. (2013). Determination of optimum tilt angles for solar collectors in low-latitude tropical region. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *4*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-29>.
- Jacob, R. H., Afify, A. S., Shanab, S. M., & Shalaby, E. A. (2022). Chelated amino acids: biomass sources, preparation, properties, and biological activities. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *0123456789*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02333-3>.



- Jiang, N., Cui, J., Meng, J., & Luan, Y. (2018). A tomato nucleotide binding sites-leucine-rich repeat gene is positively involved in plant resistance to phytophthora infestans. *Phytopathology*, 108(8), 980–987. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-17-0389-R>.
- Jung, S. M., Kim, S. W., Ban, S. H., In, D. S., Jung, J. D., Chung, H. J., Liu, J. R., Lim, Y. P., & Choi, D. W. (2006). Glutamine accumulation inhibits root growth and lateral root formation in ginseng hairy roots. *Plant Science*, 170(4), 801–807. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.11.013>.
- Kahlaoui, B., Hachicha, M., Misle, E., Fidalgo, F., & Teixeira, J. (2018). Physiological and biochemical responses to the exogenous application of proline of tomato plants irrigated with saline water. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(1), 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.12.002>.
- Kahraman, M., Sevim, G., & Bor, M. (2019). *The Role of Proline, Glycinebetaine, and Trehalose in Stress-Responsive Gene Expression BT - Osmoprotectant-Mediated Abiotic Stress Tolerance in Plants: Recent Advances and Future Perspectives* (M. A. Hossain, V. Kumar, D. J. Burritt, M. Fujita, & P. S. A. Mäkelä (eds.); pp. 241–256). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27423-8_11.
- Kaur, G., & Asthir, B. (2015). Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 59(4), 609–619. <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3>.
- Kawade, K., Tabeta, H., Ferjani, A., & Hirai, M. Y. (2023). The Roles of Functional Amino Acids in Plant Growth and Development. *Plant And Cell Physiology*, 64(12), 1482–1493. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcad071>.
- Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., Liu, P., & Jiang, W. (2019). Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., & Pons, T. L. (2009). Plant physiological ecology. In *Choice Reviews Online* (Vol. 46, Issue 08). SPRINGER. <https://doi.org/10.5860/choice.46-4432>.
- Lee, Y. H., Foster, J., Chen, J., Voll, L. M., Weber, A. P. M., & Tegeder, M. (2007). AAP1 transports uncharged amino acids into roots of Arabidopsis. *Plant Journal*, 50(2), 305–319. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03045.x>.
- Lehmann, S., Gummy, C., Blatter, E., Boeffel, S., Fricke, W., & Rentsch, D. (2011). In planta function of compatible solute transporters of the AtProT family. *Journal of Experimental Botany*, 62(2), 787–796. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq320>.
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., & Becker, D. F. (2013). Proline mechanisms of stress survival. *Antioxidants and Redox Signaling*, 19(9), 998–1011. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>.
- Lima, M. da G., Mendes, C. R., Nascimento, R. de, Lopes, N. F., & Carvalho, M. A. P. (2009).



- Avaliação bioquímica de plantas de milho pulverizadas com uréia isolada e em associação com aminoácidos. *Revista Ceres*, 56(3), 358–363. <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3448/1339>.
- Liu, Y., Lei, X. meng, Guo, Y. xiao, Yao, S. xiang, & Zeng, K. fang. (2023). Effects of methionine treatment on storage quality and antioxidant activity of postharvest jujube fruit. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(9), 2893–2904. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.06.004>.
- Mansour, M. M. F. (2000). Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. *Biologia Plantarum*, 43(4), 491–500. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1002873531707>.
- Mariani, L., & Ferrante, A. (2017). Agronomic Management for Enhancing Plant Tolerance to Abiotic Stresses — Drought , Salinity , Hypoxia , and Lodging. *Horticulturae*, 3(4), 18. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3040052>.
- Mathur, S., Agrawal, D., & Jajoo, A. (2014). Photosynthesis: Response to high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 137, 116–126. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.01.010>.
- Mattioli, R., Biancucci, M., Shall, A., Mosca, L., Costantino, P., Funck, D., & Trovato, M. (2018). Proline synthesis in developing microspores is required for pollen development and fertility. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1571-3>.
- McCoy, R. M., Meyer, G. W., Rhodes, D., Murray, G. C., Sors, T. G., & Widhalm, J. R. (2020). Exploratory study on the foliar incorporation and stability of isotopically labeled amino acids applied to turfgrass. *Agronomy*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy10030358>.
- Mertz, I. T., Christians, N. E., & Thoms, A. W. (2019). Branched-chain Amino Acids for Use as a Nitrogen Source on Creeping Bentgrass. *HortTechnology*, 0353(December), 833–837. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04423-19>.
- Mirbolook, A., Rasouli-Sadaghiani, M. H., Sepehr, E., Lakzian, A., & Hakimi, M. (2021). Synthesized Zn(II)-Amino Acid and -Chitosan Chelates to Increase Zn Uptake by Bean (*Phaseolus vulgaris*) Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(2), 831–847. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10151-y>.
- Mohamed, A.-A., & Aldobhani, S. (2014). Effect of Altitude and Tilt Angle on Solar Radiation in Tropical Regions. *Journal of Science & Technology*, 19(1), 1–14.
- Näsholm, T., Kielland, K., & Ganeteg, U. (2009). Uptake of organic nitrogen by plants. *New Phytologist*, 182, 31–48. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02751.x>.
- Niu, T., Zhang, J., Li, J., Gao, X., Ma, H., Gao, Y., Chang, Y., & Xie, J. (2023). Effects of exogenous glycine betaine and cycloleucine on photosynthetic capacity, amino acid composition, and hormone metabolism in *Solanum melongena* L. *Scientific Reports*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34509-w>.



- Noroozlo, Y. A., Souri, M. K., & Delshad, M. (2019). Stimulation Effects of Foliar Applied Glycine and Glutamine Amino Acids on Lettuce Growth. *Open Agriculture*, 4(1), 164–172. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0016>.
- Okumoto, S., Schmidt, R., Tegeder, M., Fischer, W. N., Rentsch, D., Frommer, W. B., & Koch, W. (2002). High affinity amino acid transporters specifically expressed in xylem parenchyma and developing seeds of Arabidopsis. *Journal of Biological Chemistry*, 277(47), 45338–45346. <https://doi.org/10.1074/jbc.M207730200>.
- Ozden, M., Demirel, U., & Kahraman, A. (2009). Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae*, 119(2), 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.031>.
- Padmanabhan, M., Cournoyer, P., & Dinesh-Kumar, S. P. (2009). The leucine-rich repeat domain in plant innate immunity: A wealth of possibilities. *Cellular Microbiology*, 11(2), 191–198. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2008.01260.x>.
- Park, E. J., Jeknic, Z., & Chen, T. H. H. (2006). Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. *Plant and Cell Physiology*, 47(6), 706–714. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcj041>.
- Peixoto, C. P., Almeida, A., Oliveira, E., Dos Santos, J., Peixoto, M., & Poelking, V. (2020). *Princípios de Fisiologia Vegetal. Teoria e Prática*. (C. P. Peixoto, A. Almeida, E. Oliveira, J. Dos Santos, M. Peixoto, & V. Poelking (eds.)). Pod Editora. <https://podeditora.com.br/produto/principios-de-fisiologia-vegetal/>.
- Perchlik, M., Foster, J., & Tegeder, M. (2014). Different and overlapping functions of Arabidopsis LHT6 and AAP1 transporters in root amino acid uptake. *Journal of Experimental Botany*, 65(18), 5193–5204. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru278>.
- Popko, M., Michalak, I., Wilk, R., Gramza, M., Chojnacka, K., & Górecki, H. (2018). Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. *Molecules*, 23(2). <https://doi.org/10.3390/molecules23020470>.
- Reis, A. R., & Lanza, M. G. (2023). Aminoácidos: Desmitificando el uso en la agricultura. In *Physiotek - UNESP* (Vol. 1, p. 34).
- Reis, A. R. dos, & Lanza, M. G. D. B. (2022). *Aminoácidos desmitificando o uso na agricultura*. Phisiotek.
- Rentsch, D., Schmidt, S., & Tegeder, M. (2007). Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. *FEBS Letters*, 581(12), 2281–2289. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.04.013>.
- Ronsein, G. E., Miyamoto, S., Bechara, E., Di Mascio, P., & Martinez, G. R. (2006). Oxidação de proteínas por oxigênio singlete: Mecanismos de dano, estratégias para detecção e implicações biológicas. *Química Nova*, 29(3), 563–568. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000300027>.



- Saddique, M., Kausar, A., Iqra, I., Akhter, N., Mujahid, N., Parveen, A., Zaman, Q., & Hussain, S. (2022). Amino acids application alleviated salinity stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) by improving oxidative defense, osmolyte accumulation, and nutrient balance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46(6), 875–887. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3049>.
- Santiago, J. P., & Tegeder, M. (2016). Connecting source with sink: The role of arabidopsis AAP8 in phloem loading of amino acids. *Plant Physiology*, 171(1), 508–521. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00244>.
- Schönherr, J. (2006). Characterization of aqueous pores in plant cuticles and permeation of ionic solutes. *Journal of Experimental Botany*, 57(11), 2471–2491. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj217>.
- Sharma, S., Villamor, J. G., & Verslues, P. E. (2011). Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. *Plant Physiology*, 157(1), 292–304. <https://doi.org/10.1104/pp.111.183210>.
- Silva, A. O. (2014). A Fertirrigação e o Processo de Salinização de Solos em Ambiente Protegido. *Nativa*, 2(3), 180–186. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v02n03a10>.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., & Wang, N. (2024). Amino Acids Biostimulants and Protein Hydrolysates in Agricultural Sciences. *Plants*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/plants13020210>.
- Svennerstam, H., Ganeteg, U., & Näsholm, T. (2008). Root uptake of cationic amino acids by Arabidopsis depends on functional expression of amino acid permease 5. *New Phytologist*, 180(3), 620–630. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02589.x>.
- Szepesi, Á., & Szollosi, R. (2018). Mechanism of Proline Biosynthesis and Role of Proline Metabolism Enzymes Under Environmental Stress in Plants. *Plant Metabolites and Regulation under Environmental Stress, 2014*, 337–353. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812689-9.00017-0>.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*. (E. Zeiger (ed.); 4th ed.). Sunderland, Mass. Sinauer Associates.
- TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M., & MURPHY, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. (L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, A. Murphy, A. A. Mastroberti, & P. L. de Oliveira (eds.)). Artmed Editora LTDA.
- Tegeder, M. (2012). Transporters for amino acids in plant cells: Some functions and many unknowns. *Current Opinion in Plant Biology*, 15(3), 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2012.02.001>.
- Tegeder, M. (2014). Transporters involved in source to sink partitioning of amino acids and ureides: Opportunities for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 65(7), 1865–1878. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru012>.



- Tegeder, M., & Hammes, U. Z. (2018). The way out and in: phloem loading and unloading of amino acids. *Current Opinion in Plant Biology*, 43, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.002>.
- Tegeder, M., & Masclaux-Daubresse, C. (2018). Source and sink mechanisms of nitrogen transport and use. *New Phytologist*, 217(1), 35–53. <https://doi.org/10.1111/nph.14876>.
- Tegeder, M., & Rentsch, D. (2010). Uptake and partitioning of amino acids and peptides. *Molecular Plant*, 3(6), 997–1011. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq047>.
- Tegeder, M., & Ward, J. M. (2012). Molecular evolution of plant AAP and LHT amino acid transporters. *Frontiers in Plant Science*, 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00021>.
- Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Soares, J. N., Reichardt, K., & Neto, D. D. (2018). Seed and Foliar Application of Amino Acids Improve Variables of Nitrogen Metabolism and Productivity in Soybean Crop. *Frontiers in Plant Science*, 9, 396. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00396>.
- Tonhati, R., Mello, S. C., Momesso, P., & Pedroso, R. M. (2020). L-proline alleviates heat stress of tomato plants grown under protected environment. *Scientia Horticulturae*, 268(July 2019), 12. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109370>.
- Tredenick, E. C., Farrell, T. W., Forster, W. A., & Psaltis, S. T. P. (2017). Nonlinear porous diffusion modeling of hydrophilic ionic agrochemicals in stomatous plant cuticle aqueous pores: A mechanistic approach. *Frontiers in Plant Science*, 8(May), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00746>.
- Trovato, M., Funck, D., Forlani, G., Okumoto, S., & Amir, R. (2021). Amino Acids in Plants: Regulation and Functions in Development and Stress Defense. *Frontiers in Plant Science*, 12(October), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.772810>.
- Wijewardene, I., Shen, G., & Zhang, H. (2021). Enhancing crop yield by using Rubisco activase to improve photosynthesis under elevated temperatures. *Stress Biology*, 1(1), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s44154-021-00002-5>.
- Xia, J., Yamaji, N., Che, J., Shen, R. F., & Ma, J. F. (2014). Normal root elongation requires arginine produced by argininosuccinate lyase in rice. *Plant Journal*, 78(2), 215–226. <https://doi.org/10.1111/tbj.12476>.
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>.
- Yamamoto, Y., Aminaka, R., Yoshioka, M., Khatoon, M., Komayama, K., Takenaka, D., Yamashita, A., Nijo, N., Inagawa, K., Morita, N., Sasaki, T., & Yamamoto, Y. (2008). Quality control of photosystem II: Impact of light and heat stresses. *Photosynthesis Research*, 98(1–3), 589–608. <https://doi.org/10.1007/s11120-008-9372-4>.



- Yang, G., Wei, Q., Huang, H., & Xia, J. (2020). Amino acid transporters in plant cells: A brief review. *Plants*, 9(8), 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants9080967>.
- Yao, X., Nie, J., Bai, R., & Sui, X. (2020). Amino acid transporters in plants: Identification and function. *Plants*, 9(8), 1–17. <https://doi.org/10.3390/plants9080972>.
- Yildirim, E., Ekinci, M., Turan, M., Dursun, A., Kul, R., & Parlakova, F. (2015). Roles of glycine betaine in mitigating deleterious effect of salt stress on lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(12), 1673–1689. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1030611>.
- Zhang, C., Kong, N., Cao, M., Wang, D., Chen, Y., & Chen, Q. (2020). Evolutionary significance of amino acid permease transporters in 17 plants from Chlorophyta to Angiospermae. *BMC Genomics*, 21(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6729-3>.
- Zhang, S., Zhang, Y., Li, K., Yan, M., Zhang, J., Yu, M., Tang, S., Wang, L., Qu, H., Luo, L., Xuan, W., & Xu, G. (2021). Nitrogen Mediates Flowering Time and Nitrogen Use Efficiency via Floral Regulators in Rice. *Current Biology*, 31(4), 671-683.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.095>.

SOBRE LA REVISTA

La Revista Investigaciones Agropecuarias es una divulgación científica de publicaciones especializadas en línea, arbitrada y seriada en el campo de las Ciencias Agropecuarias. Bajo la responsabilidad de la Dirección de Investigación y Postgrado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, cuyo objetivo principal es de contribuir al desarrollo de la investigación, generación de conocimientos científicos e innovación de tecnologías en esta área de conocimiento.

Es una publicación científica seriada, indexada en línea, arbitrada y especializada en Ciencias Agropecuarias. Su publicación inició en diciembre de 2018, con una periodicidad semestral, correspondiente a un volumen anual, dividido en dos números (*Diciembre-Mayo* y *Junio-Noviembre*).

Esta revista se publica bajo la modalidad de arbitraje por pares doble ciego, presentando una colección de artículos científicos originales e inéditos, compilaciones científicas y notas cortas. La revista está indexada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina (**Latindex**), en **Amelica** y en el Índice de Revistas Científicas de Panamá (**Panindex**).

AmeliCA es una infraestructura de comunicación para la publicación académica y la ciencia abierta, sostenida de forma cooperativa y centrada en un modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica

OBJETIVOS

- Divulgar resultados de investigaciones originales e inéditos, en Ciencias Agropecuarias y aumentar la visibilidad del conocimiento científico en las áreas agropecuarias a nivel internacional.
- Fomentar la participación de investigadores, profesionales y estudiantes de las Ciencias Agropecuarias y áreas afines a nivel nacional e internacional.
- Lograr su indexación en agencias de alto impacto tales como Redalyc, Scielo y Scopus.
- Contribuir con la seguridad agroalimentaria, desarrollo rural y la preservación del medio ambiente. Así como el desarrollo de tecnologías emergentes en el Sector Agropecuario.

NORMAS EDITORIALES

Los manuscritos y toda correspondencia deberán ser dirigidos a los correos electrónicos de la Revista Investigaciones Agropecuarias y del Editor de la Revista. E-mail: *revistaia_fca@up.ac.pa* y *editor_riafca@up.ac.pa*. Puede comunicarse al teléfono 523 3912.

SISTEMA DE ARBITRAJE

El procedimiento utilizado por la Revista Investigaciones Agropecuarias para la selección de los artículos a publicar es el siguiente.

1. El interesado presenta a consideración del Consejo Editorial de la Revista el artículo, para lo cual debe adjuntar al artículo, el modelo de carta de cesión de derechos y declaración de originalidad. (Ver la Sección Instrucciones para los Autores).
2. El Consejo Editorial revisa si el trabajo cumple con las políticas generales de publicación y las normas de presentación de los artículos.
3. El artículo es sometido a la consideración de dos evaluadores o pares externos, especialistas en el área temática del trabajo presentado, de alto nivel científico, que emitirán correcciones y observaciones, así como también la recomendación final en torno a si el trabajo es publicable o no. En la evaluación se utiliza el sistema de “doble ciego”, en la que el evaluador no conoce al autor del artículo en evaluación y el autor no conoce quién evalúa su trabajo. Los evaluadores utilizarán un formulario elaborado para este fin, el cual contiene una serie de criterios y también permite realizar comentarios generales al margen.
4. El autor y coautores deben atender las sugerencias y correcciones y presentar el artículo corregido.
5. El Consejo Editorial, cumplido todos los procedimientos establecidos y revisiones de redacción y estilo, toma la decisión final de la selección o no del artículo.

El proceso culmina cuando el Consejo Editorial le expide al autor y coautores una nota de aceptación del trabajo para su publicación en línea en el volumen de la revista que corresponde.

DETECCIÓN DE PLAGIO

La Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA), se compromete al respeto e integridad de los manuscritos publicados en nuestra revista y rechazará todo artículo que haya sido plagiado, o haya utilizado fuentes de otro autor señalando que es de su propia autoría.

El editor es el responsable de garantizar a los lectores que los artículos publicados en su medio sean originales y estén exentos de copia. En este sentido, la RIA siempre tiene entre sus objetivos detectar plagios en los trabajos que recibe, con el fin de asegurar que las publicaciones de nuestra revista sean confiables, por este motivo el autor debe entregar una carta de cesión de derechos y declaración de originalidad en el momento de entregar su artículo.

Si existiera alguna denuncia de plagio al Editor, este establecerá el contacto con el autor y el demandante, analizará rigurosamente el caso. Se le dará la oportunidad de retractación al autor que haya incurrido en esta falta y esto será publicado en la revista siguiente al resultado del análisis realizado por el Comité Científico y el Editor.

Por otro lado, todos los manuscritos son sometidos a un proceso de Doble revisión ciega y se utilizará para la detección de plagio la verificación de programas o software especializado.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La convocatoria para la presentación de escritos es permanente, por lo que los autores pueden enviar sus manuscritos en cualquier momento del año.

Sólo se aceptarán artículos **originales, inéditos, novedosos y vinculados a las áreas de Ciencias Agropecuarias**, los cuales serán revisados por programas especializados para detección de plagio o similitud semántica proporcionados por la institución académica.

Considere:

- Los manuscritos deben usar un lenguaje claro, preciso y comprensible.
- Los escritos no pueden estar en proceso de arbitraje o publicación en otros medios.

ESTRUCTURACIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito debe estructurarse de la siguiente manera: Título en dos idiomas: español/inglés o inglés/español, afiliación de autores y co-autores con su email y ORCID, Resumen, Palabras Clave, Abstract, Keywords, Introducción, Materiales y Métodos, Diseño Experimental, Análisis Estadístico, Resultados, Discusión, Conclusión, Agradecimiento y Referencias.

Título. La selección del título conlleva una gran responsabilidad ya que debe reflejar en pocas palabras la esencia del trabajo y debe facilitar la recuperación de la información pertinente a través de sistemas computarizados. Centrado en mayúsculas y negrillas, no debe sobrepasar 20 palabras y debe presentarse en dos (2) idiomas (Español / Inglés o Inglés / Español).

Afiliación. Corresponde a los datos que identifiquen a los responsables del artículo, autor (o autores) debidamente espaciado del título también centrado. Identifique el lugar en que se ha realizado la investigación que, usualmente, es una institución.

Resumen. Todo artículo debe contener un resumen de no más de 250 palabras y debe describir, en forma concisa y precisa, el objeto de la investigación, así como los principales logros y conclusiones. Debe poder leerse y entenderse en forma independiente del texto principal, pero podrán citarse figuras, cuadros, etc., del texto. Se debe tener presente que el resumen será la parte más leída de su trabajo.

Palabras clave. No deben sobrepasar 5 palabras, las que deben ser cuidadosamente escogidas por su relevancia en el resumen, utilizando los tesauros, que son vocabularios controlados y estructurados formalmente, formados por términos que guardan entre sí relaciones semánticas y genéricas: de equivalencia, jerárquicas y asociativas.

Abstrac / Keywords. Es obligatoria la presentación del resumen del artículo en idioma Inglés

Introducción. La introducción debe dejar claro el propósito de la investigación, los antecedentes y su relación con otros trabajos en el mismo campo, sin caer en una revisión exhaustiva de la literatura pertinente.

Materiales y Métodos. Esta sección constituye uno de los núcleos de toda investigación, se enumeran los elementos e instrumentos empleados y se describen los pasos efectuados en el experimento. Es importante que toda esta información sea descrita de manera explícita y lógica,

Parte Experimental. Esta sección debe contener todos los procedimientos con el detalle suficiente de los pasos críticos que permita que el trabajo pueda ser reproducido por un personal idóneo. Los procedimientos que ya estén en la literatura sólo deben ser citados y descritos, a menos que se hayan modificado sustancialmente. Se debe incluir también el detalle de las condiciones experimentales bajo las cuales fueron obtenidos los resultados.

Resultados. Los resultados pueden presentarse en forma de figuras, esquemas o cuadros; sin embargo, los resultados simples se pueden presentar directamente en el texto, se debe cuidar el no ser reiterativo.

Discusión. La discusión debe ser concisa y debe orientarse hacia la interpretación de los resultados.

Conclusión. Esta sección debe incluir las conclusiones que emanen de los objetivos específicos del trabajo y no debe contener la misma información que ya ha sido presentada en el texto en los resultados.

Agradecimientos. Es opcional para los autores.

Referencias. Las Referencias Bibliográficas tanto como las citas dentro del artículo serán redactadas de acuerdo a las normas APA 7.

CARACTERÍSTICAS DEL TEXTO

Todo el texto del manuscrito (incluyendo las notas, así como las tablas e inscripciones de las figuras, de acuerdo a la Norma APA 7.0) debe ser presentado en el procesador de texto Microsoft Word, con fuente o letra Times New Roman N°.12, e interlineado sencillo (1.0), con una línea entre párrafo, hasta donde se pueda, ajustado a una hoja 22x28 cm. (8 ½" x 11"). Los cuatro márgenes: izquierdo, derecho, superior e inferior debe ser de 2.54 cm (1"), con justificación en bloque.

En el caso de que incluya en su manuscrito ilustraciones, se utilizará las tablas y figuras. Estas deben ser colocadas en el lugar que les correspondan dentro del texto y deben seguir una numeración dentro del documento, las cuales deberán ser referenciadas en el escrito. Deben tener un título descriptivo de las misma, para las tablas en la parte superior en cursiva y en el caso de las figuras en la parte inferior, en fuente Times New Roman N°. 12. De ser necesario anotaciones sobre su contenido se colocarían en un pie de tabla o figura.

Adjunto al manuscrito debe entregar la Carta de Cesión de Derechos y Declaración de Originalidad, adjunto formato de modelo carta.

Ciudad, País y Fecha

Señores
 Comité Editorial
 Revista Investigaciones Agropecuarias
 Facultad de Ciencias Agropecuarias
 Universidad de Panamá
 E. S. D.

Estimados Señores:

Los autores remitimos el trabajo titulado “.....”, para someterlo a consideración de su publicación en la REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS.

Los autores declaramos que el trabajo enviado:

- Es un trabajo original.
- No ha sido previamente publicado en otro medio.
- No ha sido remitido simultáneamente a otra publicación.
- Todos los autores han contribuido intelectualmente en su elaboración.
- Todos los autores han leído y aprobado la versión final del manuscrito remitido.

Si el trabajo es aprobado para su publicación, a través de este documento cedemos a la REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS los derechos exclusivos para editar, publicar, reproducir, distribuir copiar, para su divulgación en resumen o en extenso, en versión impresa y/o digital, a través de bibliotecas, índices científicos, catálogos y registros nacionales e internacionales a los cuales esté suscrita la revista.

AUTOR (ES) PRINCIPAL (ES) DEL ARTÍCULO:

Nombre y Apellido, e-mail, área y ORCID

- 1)
- 2)

AUTORES COLABORADORES (Nombres, Apellidos, correos electrónicos, ORCID y área):

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)

Teléfono de contacto:

Email de Correspondencia:

Nota: Para mayor información contactarse con la Revista Investigaciones Agropecuarias: 523-3912, 6601-0720

o e-mail: revistaia_fca@up.ac.pa o editor_riafca@up.ac.pa

