

REVISTA

ISSN L 2644-3856

INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ | FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Vol. 5 No. 2 Junio - Noviembre 2023

Publicación Semestral

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



Ciencias Agropecuarias



Repositorios y bases
en donde se encuentra la revista

latindex
catálogo 2.0

melica

Panindex
Índice de Revistas Científicas de Panamá

Disponible en Google Académico

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 5, N°2
JUNIO - NOVIEMBRE 2023

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 5, Número 2
Junio - Noviembre 2023

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

Dr. M.V. Reinaldo De Armas PhD. – Panamá
Director de la Revista Investigaciones Agropecuarias
reinaldo.dearmas@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0003-2488-0113>

Ing. Juan Miguel Osorio PhD. – Panamá
Editor de la Revista Investigaciones Agropecuarias
juan.osorio@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0002-6859-5763>

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
DOCENTES

Prof. Ricardo Parker
SECRETARIA GENERAL

Mgter Eldis Barnes Molinar
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTACIÓN

Ponemos a su disposición el Volumen 5 Número 2 de la *Revista Investigaciones Agropecuarias*, correspondiente a su período semestral de Junio – Noviembre 2023,

Esta 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.

El objetivo de la revista es divulgar los resultados de investigaciones originales e inéditos, en el área de las Ciencias Agropecuarias y áreas afines, aumentando la visibilidad del conocimiento científico en las áreas agropecuarias a nivel nacional e internacional. Así como incentivar la participación de investigadores, profesionales y estudiantes de esta área y contribuir en desarrollo de tecnologías emergentes, el desarrollo rural, la seguridad agroalimentaria y la preservación del medio ambiente.

Este volumen contiene artículos relacionados en áreas de salud, fisiología, nutrición y producción animal, así como economía agrícola, entomología y medio ambiente.

Todos los artículos fueron sometidos a un flujo editorial desde su llegada hasta su aprobación y fueron sometidos a la modalidad de arbitraje por pares *doble ciego*, los cuales quedan a la disposición de la comunidad científica.



JUAN MIGUEL OSORIO RODRÍGUEZ, PhD

EDITOR

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INDICE

ARTÍCULOS EN ESTE NÚMERO	Págs.
INCIDENCIA DE <i>Dermatobia hominis</i> (Linnaeus Jr., 1781) (<i>Diptera: Cuterebridae</i>) DESPUÉS DEL USO DE AMITRAZ, COSTA ABAJO DE COLÓN, PANAMÁ <i>Bernardo Díaz, Andrés Chang y Edwin Pile</i>	7 - 15
EVALUACIÓN DE CINCO MÉTODOS PARA EL PRONÓSTICO Y EL ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE PANAMÁ: UNA HERRAMIENTA PARA LAS INSTITUCIONES Y EMPRESAS DEL SECTOR <i>Juan Corella Justavino, Juan H. Rusnak S., José R. Binns H., Carmen C. Rovira C., Odilio Ayala, Rubén D. Ríos E., Xóchilt Acosta y Eybar E. Vargas</i>	16 - 27
TECNOLOGÍA DE PRECISIÓN COMO HERRAMIENTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO <i>Efraín Quintero Chanis, Joseph Grajales-Cedeño, Ana Strappinni, Fabiola Matamala</i>	28 - 44
EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DE MODELACIÓN NO LINEAL PARA EL AJUSTE DE CURVAS DE LACTANCIA EN CABRAS LECHERAS (<i>Capra hircus</i>) <i>Roberto Saavedra, Héctor Cedeño, Joseph Grajales-Cedeño, Enrique Sánchez-Galán, Marilys Quintero, Tamara Pimentel, Gabriel Remy</i>	45 - 67
EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO Y LA SIMETRÍA CORPORAL EN BÚFALOS DE LA RAZA BUFFALYPSO (<i>Bubalus bubalis</i>) EN BOCAS DEL TORO, REPÚBLICA DE PANAMÁ <i>Edil E. Araúz S., Josue Y. Vanegas, Jose Ramón Binns3, Alex Solís, Alirio De Jesús Colmenares C., Jose I. Norato A. y Milva L. Vergara</i>	68 - 85
DINÁMICA DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL <i>in vitro</i> DE LA MEZCLA INTEGRAL DE CAMOTE (<i>Ipomoea batata</i> , L.) PRESECADA Y ENSILADA <i>Carlos Solís G, Manuel H. Ruiloba, , Rafael Rodríguez, Yoandra Marrero y Niurka González</i>	86 - 97
EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA MARÍA <i>Efraín Oses, Xavier Navarro, José Villarreal e Iván Ramos</i>	98 - 112
AFINIDAD MORFOMÉTRICA ENTRE ESPECIES DEL GÉNERO <i>Camarotus</i> GERMAR (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) <i>Rubén D. Collantes González</i>	113 -120
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE DETERMINADOS SEMENTALES Y DONADORAS DE OVOCITOS, EN PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN <i>IN VITRO</i> DE EMBRIONES (REPORTE PRELIMINAR) <i>Reinaldo De Armas, Sergio Villamil, Carlos F. Marins, Alex Solis y Reggie Guerra</i>	121 -129

INCIDENCIA DE *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr., 1781) (Diptera: Cuterebridae) DESPUÉS DEL USO DE AMITRAZ, COSTA ABAJO DE COLÓN, PANAMÁ

INCIDENCE OF *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr., 1781) (Diptera: Cuterebridae) AFTER THE USE OF AMITRAZ, COSTA ABAJO DE COLÓN, PANAMA

*Bernardo Díaz**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Centro Regional Universitario de Darién (INVFCA-DARIÉN). Panamá. ninozoot@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2173-4575>

Andrés Chang. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Centro Regional Universitario de Darién (INVFCA-DARIÉN). Panamá. andres.chang@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0003-4776-6794>

Edwin Pile. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Centro Regional Universitario de Darién (INVFCA-DARIÉN). Panamá. edwin.pilem@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0002-6226-1500>

*Correo de Correspondencia: ninozoot@gmail.com

Recibido: 10/05/2022

Aceptado: 12/04/2023

RESUMEN. Se evaluó la incidencia de larvas de *Dermatobia hominis* después de la aplicación de amitraz (12.5%) para el control de la mosca en condiciones de campo. Se llevaron a cabo observaciones desde el 1 al 30 de marzo de 2022, con animales ubicados en la localidad de Donoso, Costa Abajo de Colón, Panamá. Se utilizaron 76 animales, que recibieron el producto por aspersión con bomba de espalda, a razón de 1:600 partes de agua. Al momento de la aplicación, se escogieron aleatoriamente 20 animales para contar el número de larvas (Grupo Control). Posteriormente, cada siete días, se seleccionaron 19 animales de forma aleatoria para el conteo del número de larvas. Así, se obtuvieron informaciones para los días siete (Ddt_07), catorce (Ddt_14), veintiuno (Ddt_21) y veintiocho (Ddt_28). La acción larvicida fue evidenciada por medio del número de larvas vivas de *D. hominis* encontradas en el cuerpo del animal. Los registros se compararon en función del color (claros y oscuros) y de la categoría de los animales (adultos, novillos y terneros) (ANOVA y Prueba de Duncan; $p < 0.05$) y las gráficas se elaboraron con el paquete Ggplot2 (Wickham, 2016). El porcentaje de reducción del número de larvas (PRNL) se calculó con la fórmula $(\bar{X} - xi) * 100 / \bar{X}$, siendo la eficiencia alcanzada cuando el PRNL era igual o mayor a 95%, con un resultado significativo de la Prueba de Duncan. Los resultados mostraron que la presencia de larvas de *D. hominis* fue común durante el periodo de estudio, que los animales más afectados fueron los adultos de coloración oscura y que la aplicación de amitraz (12.5%) por aspersión no fue eficaz en las condiciones evaluadas.

PALABRAS CLAVE: *Dermatobia hominis*, Amitraz, ANOVA.

ABSTRACT. The incidence of *Dermatobia hominis* larvae after the application of Amitraz (12.5%) for the control of flies in field conditions was evaluated. Observations were carried out from 1 to 30 March 2022, with animals located in the town of Donoso, Costa Abajo de Colón, Panama. 76 animals were used, which received the product by spraying with a back pump at a rate of 1:600 parts of water. At the time of application, 20 animals were randomly selected to count the number of larvae (Control Group). Subsequently, 19 animals were randomly selected every seven days to count the number of larvae. Thus, information was obtained for days seven (Ddt_07), fourteen (Ddt_14), twenty-one (Ddt_21) and twenty-eight (Ddt_28). The larvicidal action was evidenced by the number of live larvae of *D. hominis* found on the animal's body. The records were compared according to color (light and dark) and animal category (adults, young bulls and calves) (ANOVA and Duncan Test; $p < 0.05$) and the graphics were made with the Ggplot2 package (Wickham, 2016). The percentage reduction of the number of larvae (PRNL) was calculated with the formula $(\bar{X} - xi) * 100 / \bar{X}$, being the efficiency achieved when the PRNL was equal to or greater than 95%, with a significant result of the Duncan Test. The results showed that the presence of larvae of *D. hominis* was common during the study period, that the most affected animals were the dark-colored adults and that the application of amitraz (12.5%) by spraying was not effective under the evaluated conditions.

KEYWORDS: *Dermatobia hominis*, Amitraz, ANOVA.

INTRODUCCIÓN

Dermatobia hominis es un parásito de animales domésticos y el hombre, en la fase larval, causante de miasis nodular (Dias, 2018; Verocai et al., 2009). Esta parasitosis, al afectar a los bovinos, lleva a la ocurrencia de serios perjuicios económicos y productivos, como baja producción de leche y carne, retraso en el crecimiento de los animales y muerte de los mismos, así como daños en el cuero de los animales, con pérdidas en su comercialización (Brito et al., 2001; Sanavria et al., 2002).

Por estas razones, diversos autores han realizado investigaciones con la finalidad de identificar productos y establecer estrategias que mitiguen el problema. De esta forma, se sabe que la acción sobre el número de larvas de *D. hominis* y su establecimiento sobre los bovinos es similar al comparar la acción de la doramectina (1%) y una formulación compuesta de ivermectina y abamectina (3.15% y 1.25%) (Borges et al., 2008). Además, la asociación de cipermetrina, clorofos, butóxido de piperonilo y fluazurona (pour-on) es eficaz a los 7 y 14 días en bovinos naturalmente infectados (Campos et al., 2017). Sin embargo, también se deben resaltar los reportes de la presencia de larvas vivas del parásito después del tratamiento de bovinos con ivermectina y moxidectina, en Brasil (Neves et al., 2015).

El registro de control de larvas de *D. hominis* con el uso de amitraz no es frecuente. Sin embargo, se encuentran los trabajos de Menin et al. (2019) quienes mostraron la eficiencia de la mayoría de las asociaciones entre piretroides y organofosforados, y del amitraz (12.5%) en el control de *Rhipicephalus microplus*. Por otra parte, Cuore et al. (2012) establecieron una metodología de erradicación de *R. (B.) microplus* usando un modelo basado en el concepto de tratamiento generacional de garrapatas. En este caso, los principios activos son seleccionados a través de bioensayos realizados con adultos y larvas, y las estrategias aseguran el tratamiento supresivo en cada generación anual de garrapatas, optimizando el uso de moléculas efectivas para minimizar la expansión de la presión de selección con la consecuente emergencia de la resistencia.

A pesar de los resultados anteriores, Maciel et al. (2015) concluyeron que el uso de un protocolo con la rotación de amitraz y piretroides cada 28 días, durante tres años consecutivos, fue suficiente para generar una cepa de *R. (B.) microplus* resistente a amitraz, y que el paso de 40 generaciones sin contacto entre la especie de garrapatas y el compuesto (amitraz) no fue suficiente para revertir o modificar la eficacia/resistencia de la cepa analizada al producto. Usando esta información como base y considerando el uso frecuente del amitraz en la región, se trazó como objetivo la verificación, en condiciones de campo, de la incidencia de larvas de *D. hominis* después de la aplicación del producto en animales infestados de forma natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las observaciones se realizaron en el municipio de Donoso, localizado en la Costa Abajo de Colón, entre el 1 y el 30 de marzo de 2022. Fueron evaluados 76 animales. El producto aplicado fue Amitraz (12.5%), en una proporción de 1/600 partes de agua. La aplicación se hizo mediante aspersión con una bomba de espalda. La acción larvicida se evidenció por el número de larvas de

D. hominis (tórsalos) encontradas en el cuerpo del animal (conteo realizado por palpación e inspección de los nódulos dérmicos con larvas vivas localizados en el antímero izquierdo del animal, después de su sujeción). Las informaciones se recopilaron a partir del día de la aplicación del producto (Día 0 (cero)). Se escogieron 20 animales, de forma aleatoria, en el momento de la aplicación, para el conteo de las larvas, constituyendo el Grupo Control. Posteriormente, de forma consecutiva, se escogieron 19 animales, también de forma aleatoria, para el conteo de las larvas en los días 07, 14, 21 y 28. A este periodo se le denominó Días después del tratamiento (Ddt). Los registros fueron comparados en función del color (claros y oscuros) y de la categoría de los animales (adultos, novillos y terneros) (ANOVA y Prueba de Duncan; $p \leq 0.05$) y las gráficas fueron elaboradas con el paquete Ggplot2 (Wickham, 2016). El porcentaje de reducción del número de larvas (PRNL) fue calculado con la fórmula $(\bar{X} - xi) * 100 / \bar{X}$, siendo la eficiencia alcanzada si el PRNL era igual o mayor a 95% y el resultado de la Prueba de Duncan era significativo. Todos los análisis se realizaron en el ambiente de computación estadística R (R Core Team, 2022).

El margen de error para el resultado fue calculado despejando la fórmula:

$$N = (Z^2 * p * q) / (i^2)$$

donde:

Z = Valor conocido en la curva normal del número de desviaciones correspondiente al riesgo arbitrado por el investigador

p = Porcentaje de individuos parasitados en la muestra considerada

q = Porcentaje de individuos no parasitados en la muestra considerada

i = Error tolerado por el investigador

RESULTADOS

Las diferencias en el número de larvas de *Dermatobia hominis* en los días siete y 14 posteriores al tratamiento fueron significativas (Prueba de Duncan, $p \leq 0.05$). Sin embargo, la reducción del número de parásitos no alcanzó el 70% ($PRNL_{07} = 59.60\%$, $PRNL_{14} = 66.02\%$, $\bar{X} = 6$ [IC95% = 5 - 7], Figura 1). Las diferencias en el número de larvas también se registraron para el color (Figura 3) y la categoría de los animales evaluados (Figura 2) (ANOVA; $p \leq 0.1$). El margen de error estimado para las observaciones realizadas fue de aproximadamente 3%.

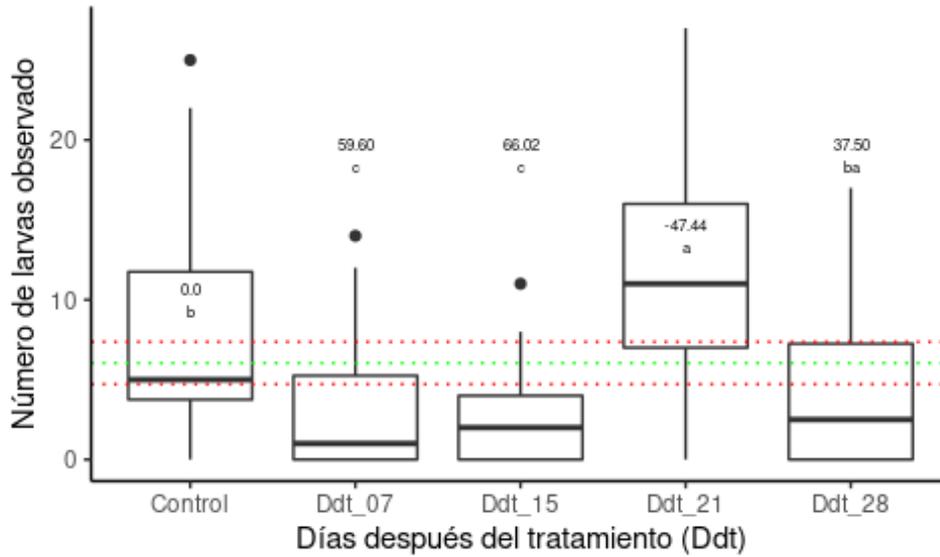


Figura 1. Representación gráfica de la incidencia del número de larvas de *D. hominis* entre los grupos/periodos evaluados con indicación del promedio (línea verde punteada), del intervalo de confianza[95%] (línea roja punteada), del porcentaje de reducción de larvas (valor numérico en color negro) y del resultado de la Prueba de Duncan (letras diferentes demuestran diferencias significativas al nivel de 5%) registrados durante las evaluaciones.

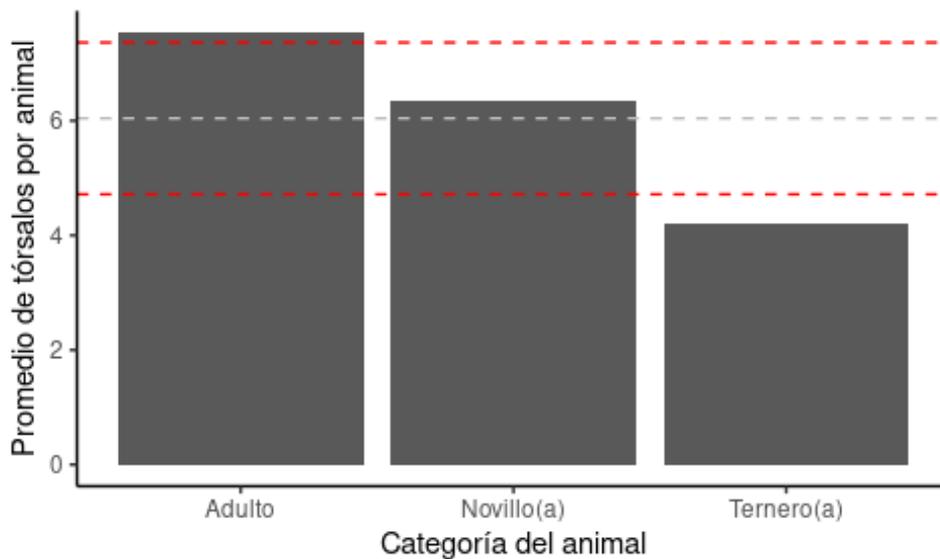


Figura 2. Promedio del número de larvas/individuo registrado en función de la categoría del animal, con indicación del promedio (línea gris segmentada) y del intervalo de confianza[95%] (línea roja segmentada).

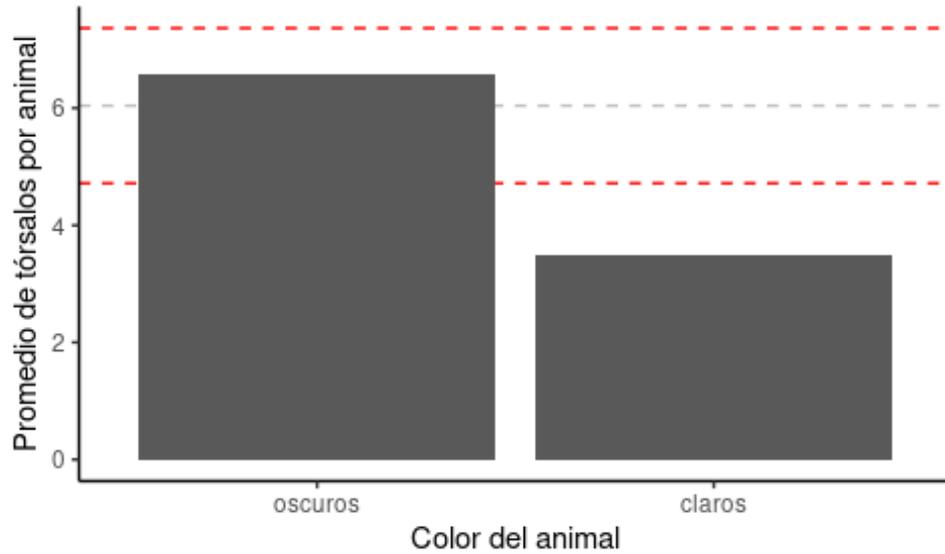


Figure 3. Promedio del número de larvas/individuo registrado en función del color del animal, con indicación del promedio (línea gris segmentada) y del intervalo de confianza[95%] (línea roja segmentada) general.

DISCUSIÓN

Los resultados demostraron un promedio de 12 larvas de *D. hominis* por animal (asumiendo la suma de los antímeros), durante todo el periodo de estudio, siendo los individuos adultos de color oscuro los más afectados. De igual forma, se evidenció que el producto tuvo una acción significativa hasta 15 días después de su aplicación, aunque la reducción del número de larvas no alcanzó el 70%. Esto sugiere una alta infestación de los animales y la probabilidad de registrar un mayor número de casos en función de la superficie de exposición, dada por la categoría del animal y la temperatura más amena en los lugares de descanso de los animales, donde la presencia de moscas es más frecuente. Sin embargo, también debe considerarse que probablemente la coloración sea un factor de variación para la presencia de larvas influenciado por una variable adicional, como el tipo de producción de la finca.

Los resultados confirman los registros de Sanavria et al. (2002), quienes indicaron que la mayor frecuencia de larvas se encontraba entre animales adultos de color oscuro. Además, los autores mencionaron que estas formas larvales son más comunes en la región anterior (Fernandes et al., 2008; Medeiros et al., 2015) de las hembras (Sanavria et al., 2002). El mayor índice de infestación en la región anterosuperior de hembras adultas también fue señalado por Florião et al. (2011), aunque nuestros resultados fueron contrarios a estos, ya que ellos indicaron que el mayor número de larvas fue encontrado en animales de color blanco y negro, en comparación con los tonos rojos y marrones claros y oscuros.

En relación al amitraz, se encontraron pocas referencias relacionadas con el control de larvas de *D. hominis*. Sin embargo, se ha convertido en uno de los acaricidas químicos más utilizados para el control de las garrapatas del ganado, debido al desarrollo de resistencia contra la mayoría de los organofosforados y piretroides sintéticos acaricidas (Singh et al., 2015), a pesar de la evolución de poblaciones resistentes de colonias de garrapatas expuestas a amitraz en condiciones de laboratorio. Estos hallazgos se han confirmado en condiciones de campo. Los trabajos de Mendes et al. (2013) han sido corroborados por nuestros registros, pues al evaluar la resistencia al producto y el efecto de sinergistas (butóxido de piperonilo, maleato de dietilo, fosfato de trifenilo), en cepas resistentes y susceptibles de garrapatas, muchos autores han demostrado los efectos adversos de su uso continuo, a pesar de no evidenciar efectos sinérgicos para los productos evaluados. Lo mismo ocurre con los trabajos de Maciel et al. (2015), quienes reportaron la generación de cepas resistentes de *R. (B.) microplus* al usar protocolos con rotación de amitraz y piretroides cada 28 días. Estos autores destacan las dificultades para revertir el proceso de resistencia, incluso después de 40 generaciones sin contacto entre el parásito y el producto.

En contraste, Jonsson et al. (2010) indicaron que el tratamiento de animales con una rotación de spinosad y amitraz cada dos meses provocó niveles reducidos de resistencia a amitraz, con incrementos cada verano y otoño, y con un retorno a la susceptibilidad total o casi total al inicio de la primavera. Estos resultados sugieren una relativa falta de capacidad de las garrapatas resistentes al producto, lo que podría explotarse mediante el uso de estrategias de rotación acaricida. Por lo tanto, debido a la contradicción de estos registros y considerando la condición inicial de nuestras investigaciones, se sugiere la continuación de estos estudios en la región.

CONCLUSIÓN

Se concluye que la presencia de larvas de *Dermatobia hominis* fue frecuente en la región de Costa Abajo de Colón, Panamá durante el estudio, siendo los animales más afectados los adultos de coloración oscura. La aplicación de amitraz (12.5%) por aspersión no mostró ser eficaz en las condiciones evaluadas.

Limitaciones del trabajo:

La incidencia de *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr., 1781) (Diptera: Cuterebridae) después del uso de amitraz, en la región de Colón, Panamá, fue examinada durante un mes. Esta investigación puede tener limitaciones debido a la duración del estudio y al uso de un solo producto para controlar las larvas de *Dermatobia hominis*. A pesar de estas limitaciones, esta investigación nos da una comprensión importante de la incidencia y los efectos del uso de amitraz en la región.

REFERENCIAS

- Borges, F. A., Silva, H. C., Buzzulini, C., Soares, V. E., Santos, E., Oliveira, G. P., & Costa, A. J. (2008). Endectocide activity of a new long-action formulation containing 2.25. *Veterinary Parasitology*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.04.019>
- Brito, L. G., Paes, M. J., & Borja, G. E. M. (2001). Infestação artificial e desenvolvimento larval de *Dermatobia hominis* em suínos e equinos. *Revista Ceres*.
- Campos, D. R., Avelar, B. R. D., Oliveira, G. F. D., Alves, M. S. R., Borges, D. A., Medeiros, M. T., Comendouros, K., & Scott, F. B. (2017). Efficacy of the association of cypermethrin, chlorpyrifos, piperonyl butoxide and fluzuron against larvae of *Dermatobia hominis* in naturally infested cattle. *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria*, 39. <https://doi.org/10.29374/2527-2179.bjvm007817>
- Cuore, U., Altuna, M., & Fernández, F. (2012). Aplicación del tratamiento generacional de la garrapata en la erradicación de una población multirresistente de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 48.
- Dias, A. S. (2018). Frequency of *Dermatobia hominis* larvae in bovine for slaughtering in the Zona of Mata Northwest, Minas Gerais State. *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 12. <https://doi.org/10.5935/1981-2965.20180043>
- Fernandes, N. L. M., Thomaz-Soccol, V., Pinto, S. B., & Oliveira, C. A. L. (2008). Dinâmica populacional e distribuição corporal das larvas de *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr., 1781) em bovinos da raça Nelore. *Archives of Veterinary Science*, 13. <https://doi.org/10.5380/avs.v13i2.12889>

- Florião, M. M., Fraga, M. E., Moya-Borja, G. E., Tassinari, W., & Fajardo, R. S. L. (2011). Corporal mapping about the presence of *Dermatobia hominis* larvae (Linnaeus Jr., 1781) (Diptera: Cuterebridae) in organic dairy cattle. *Revista Brasileira de Medicina Veterinaria*, 33.
- Jonsson, N. N., Miller, R. J., Kemp, D. H., Knowles, A., Ardila, A. E., Verrall, R. G., & Rothwell, J. T. (2010). Rotation of treatments between spinosad and amitraz for the control of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* populations with amitraz resistance. *Veterinary Parasitology*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.12.026>
- Maciel, W. G., Lopes, W. D. Z., Cruz, B. C., Gomes, L. V. C., Teixeira, W. F. P., Buzzulini, C., Bichuette, M. A., Campos, G. P., Felippelli, G., Soares, V. E., Oliveira, G. P. de, & Costa, A. J. da. (2015). Ten years later: Evaluation of the effectiveness of 12.5. *Veterinary Parasitology*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.10.024>
- Medeiros, W. S., Baptista, M. N., & Borja, G. E. M. (2015). Frequência populacional de *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr., 1781) (Diptera: Cuterebridae) e sua correlação com variáveis climáticas, no Sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 52. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.v52i4p350-355>
- Mendes, E. C., Mendes, M. C., & Sato, M. E. (2013). Diagnosis of amitraz resistance in Brazilian populations of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* (Acari: Ixodidae) with larval immersion test. *Experimental and Applied Acarology*, 61. <https://doi.org/10.1007/s10493-013-9697-3>
- Menin, M., Xavier, C., Grigolo, M. F., Molosse, K. F., Weirich, M. H., Matzemberger, B., Collet, S. G., Prestes, A. M., & Camillo, G. (2019). Factors associated with the efficiency of acaricides on different populations of *rhipicephalus microplus*. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 56. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2019.157595>
- Neves, J. H. das, Carvalho, N., & Amarante, A. F. T. (2015). *Dermatobia hominis*: Potencial risk of resistance to macrocyclic lactones. *Veterinary Parasitology*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.06.029>
- R Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Sanavria, A., Barbosa, C. G., Bezerra, E. S., Morais, M. C., & Giupponi, P. C. (2002). Distribuição e frequência de larvas de *Dermatobia hominis* (Linnaeus Jr., 1781) (Diptera: Cuterebridae) em peles de bovinos. *Parasitologia Latinoamericana*, 57. <https://doi.org/10.4067/s0717-77122002000100006>
- Singh, N. K., Gelot, I. S., Jyoti, Singh, V., & Rath, S. S. (2015). Detection of amitraz resistance in *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* from North Gujarat, India. *Journal of Parasitic Diseases*, 39. <https://doi.org/10.1007/s12639-013-0280-y>

Verocai, G. G., Fernandes, J. I., Ribeiro, F. A., Melo, R. M. P. S., Correia, T. R., & Scott, F. B. (2009). Furuncular Myiasis Caused by the Human Botfly, *Dermatobia hominis*, in the Domestic Rabbit: Case Report. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 18. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2008.11.004>

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>

EVALUACIÓN DE CINCO MÉTODOS PARA EL PRONÓSTICO Y EL ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE PANAMÁ: UNA HERRAMIENTA PARA LAS INSTITUCIONES Y EMPRESAS DEL SECTOR

EVALUATION OF FIVE METHODS FOR FORECASTING AND ANALYSIS OF AGRICULTURAL PRODUCTION TRENDS IN PANAMA: A TOOL FOR INSTITUTIONS AND COMPANIES IN THE SECTOR

*Juan Corella Justavino**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá. jcorella1954@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-1509-3698>

Juan H. Rusnak S. Universidad Tecnológica de Panamá. Facultad de Ingeniería Industrial. Departamento de Agroindustrias y Métodos Cuantitativos. Panamá. juan.rusnak@utp.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-4084-9477>

José R. Binns H. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá. jose.binns@up.ac.pa

Carmen C. Rovira C. 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>

Odilio Ayala. Universidad Autónoma de Chiriquí. Facultad de Economía. Departamento de Economía y Estadística. Panamá. odilio.ayala@unachi.ac.pa

Rubén D. Ríos E. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. ruben.riose@up.ac.pa

Xóchilt Acosta. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá. xochilt.acosta@up.ac.pa

Eybar E. Vargas. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia. Panamá. eibar.vargas@up.ac.pa

*Correo de Correspondencia: jcorella1954@gmail.com

Recibido: 03/02/2023

Aceptado: 23/04/2023

RESUMEN. Como una orientación para que los administradores y profesionales de las ciencias agrícolas mejoren la planificación de presupuestos y estados financieros proyectados, se analizaron cinco métodos de pronósticos y la tendencia de la regresión lineal, en una serie de tiempo, para 30 cultivos agrícolas en Panamá. Los cinco métodos de pronósticos aplicados fueron el Promedio Móvil Simple (PMS), el Promedio Móvil Ponderado (PMP), la Suavización Exponencial (SE), la Regresión lineal simple (RLS) y la Regresión Polinómica (RP) y el único método de tendencia utilizado fue el RLS. Los datos se corrieron en el software Excel. Los resultados de las estadísticas básicas (ver tabla1) mostraron que, de 30 rubros analizados en el 2019, en 16 casos la producción estuvo por debajo del promedio de la serie histórica. En la tabla 2 se observa que, de los 30 rubros pronosticados, 6 casos correspondieron al PMS, 14 casos al PMP, 9 casos a la SE y en un caso al método de la RP. En el análisis de tendencia, para después del año 2019, de los 30 casos analizados, 19 rubros mostraron tendencia al decrecimiento, 9 mostraron al incremento y dos a mantener la producción constante. Se concluye que los pronósticos para la producción de cultivos agrícolas pueden variar de un método a otro, dependiendo además de la data y del tiempo, de un alto coeficiente de determinación del modelo de regresión, de un resultado en números reales positivos y del menor error porcentual de desviación absoluta.

PALABRAS CLAVE: coeficiente de determinación, cultivos agrícolas, Porcentaje de error promedio absoluto MAPE, promedios móviles, serie histórica, regresión polinómica.

ABSTRACT. As an orientation for agricultural science managers and practitioners to improve budget planning and projected financial statements, five forecasting methods and the trend of linear regression, over a time series, for 30 agricultural crops in Panama were analyzed. The five forecasting methods applied were Simple Moving Average (SMA), Weighted Moving Average (WMA), Exponential Smoothing (SE), Simple Linear Regression (SLR) and Polynomial Regression (PR) and the only trend method used was SLR. The data was run in Excel software. The results of the basic statistics (see table 1) showed that, of 30 items analyzed in 2019, in 16 cases production was below the average of the historical series. Table 2 shows that, of the 30 items predicted, 6 cases corresponded to the SMA, 14 cases to the WMA, 9 cases to the SE and in one case to the PR method. In the trend analysis, for after 2019, of the 30 cases analyzed, 19 items showed a tendency to decrease, 9 showed an increase and two were predicted to maintain constant production. It is concluded that the forecasts to produce agricultural crops may vary from one method to another, depending also on addition to the data and time, a high coefficient of determination of the regression model, a result in positive real numbers and the lowest percentage error of absolute deviation.

KEYWORDS: coefficient of determination, agricultural crops, Average Absolute Percentage Error (MAPE), moving averages, historical series, polynomial regression.

INTRODUCCIÓN

La predicción de pronósticos y tendencias de futuras cosechas es un problema de gran relevancia que, en su mayoría, aún no ha sido resuelto por las empresas agropecuarias de Panamá. En esta investigación se enfocarán distintos tipos de pronósticos y tendencias como una referencia útil para que el administrador de empresas agropecuarias pueda tomar mejores decisiones en la planificación de presupuestos y estados financieros proyectados.

Los antecedentes y la literatura correspondiente a los pronósticos han sido ampliamente descritos por renombrados autores, tales como: Anderson et al. (2011) y Anderson et al. (2011); Alonso (2007); Ayala (2019); Torres Barrón (2011); Gallagher y Watson (1982); Gutiérrez (2013). Todos ellos describen objetivos y fórmulas correctas sobre pronósticos aplicados en distintas disciplinas. Vargas Avilés (2014) enmarca siete pasos para implementar la metodología de pronósticos: definir el problema, desarrollar un modelo, recopilar datos, desarrollar una solución, probar la solución, analizar los resultados e implementar los resultados. Renders, Stair y Hanna (2012) definen tres técnicas de pronósticos: los modelos causales (como el modelo Delphi, el Jurado de opinión ejecutiva, la composición de la fuerza de ventas y las encuestas al mercado de consumidores); los promedios móviles, las proyecciones de tendencias, la descomposición de factores, los análisis de regresión y la regresión múltiple. Monks (1996) resume 14 métodos de pronósticos: seis métodos de opinión y juicio (cualitativos), como la fuerza de venta, la opinión ejecutiva, las ventas y el gerente de línea, la analogía histórica, el método Delphi y la investigación de mercados; seis métodos de series de tiempo (cuantitativos), como el promedio simple, los promedios móviles, la proyección de la tendencia, la descomposición, el suavizamiento exponencial y el Box-Jenkins; y dos métodos asociativos cuantitativos, como la regresión y la correlación, y los econométricos.

El objetivo general de esta investigación es dotar al administrador de empresas agropecuarias de técnicas de pronósticos y tendencias para una mejor planificación de la producción en el sector agropecuario. En lo específico, plantea mostrar y seleccionar el mejor pronóstico y la mejor tendencia de la producción de rubros agrícolas para el año 2023-2024.

El análisis estadístico de series históricas, así como los métodos y técnicas científicas de pronósticos aquí utilizados con fines de presupuestos financieros y para predecir futuras cosechas hasta ahora ha sido poco utilizado en Panamá, en especial en el sector agropecuario. La hipótesis de trabajo, para la verificación de la presente investigación, sostiene que los pronósticos de producción difieren según el método utilizado y su efectividad está en función de la naturaleza de la serie histórica que se toma como base.

El alcance de este trabajo consiste en empoderar a los interesados para analizar datos e implementar pronósticos y tendencias para una mejor planificación de producción en las empresas agropecuarias de Panamá. Los beneficiarios de la información resultantes serán las instituciones y empresas públicas y privadas, así como también administradores, profesionales y estudiantes del de Panamá.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio y diseño de investigación

Se trató de un análisis econométrico correlacional y explicativo, basado en una serie histórica de datos. Los datos para la investigación se obtuvieron de la hoja electrónica Excel de la Dirección Nacional de Agricultura y de la Dirección Nacional de Planificación de Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA, 2021). La calendarización de siembra y cosecha de esos rubros se obtuvieron del Calendario de Rubros Instituto de Mercadeo Agropecuario (IMA, 2020). La descripción de los aspectos técnicos de esos cultivos está en los Catálogos de Rubros Cultivados en Panamá (IMA, 2021).

Programas computarizados y personal

Se contó con un buen equipo multidisciplinario de investigadores, así como programas informáticos y métodos cuantitativos y estadísticos como POM-QM (Weiss, 2005), SAS en línea (SAS, 2021), SPSS y Excel, entre otros.

Métodos, diseño y unidades de análisis

Según Toro, *et al.* (2010), existen muchísimos modelos para pronósticos. Renders *et al.* (2012) nos indican que el pronóstico (Y_t) está en función de los componentes de la serie de tiempo a saber: $Y_t = T * C * S * R$, donde los componentes de las series de tiempo se interpretan como: T= Tendencia; C= Cíclico; S= Estacional; R= Aleatorio o irregular.

Para efectos de esta investigación, por límites de tiempo, fácil manejo y bajos costo de procesamiento, se seleccionaron cinco métodos de pronósticos (tres basados en modelos de promedios de series históricas y dos modelos de regresión) para predecir la producción de 30 rubros agrícolas en el año agrícola 2023-2024. A continuación, se describe brevemente la metodología utilizada para cada uno de los pronósticos:

- 1- Promedio Móvil Simple (PMS): para pronosticar el 3^{er} año y años sucesivos se promediaron los dos años anteriores.
- 2- Promedio Móvil Ponderado (PMP): para pronosticar el 3^{er} año y años sucesivos se promediaron los dos años reales anteriores y adicional se le dio una ponderación a cada año real anterior y donde la suma de las ponderaciones debe ser igual a uno.
- 3- Suavización Exponencial (SE): para pronosticar se puede utilizar cualquier aproximación que estime la experiencia el investigador. Para este caso, al pronosticar el 3^{er} año se promedió el año 1 real más el año 2 real; luego para pronosticar el año 4, de la serie y años subsiguientes se utilizó el pronóstico del año 3 real más (+) una constante de suavización (alfa) multiplicada por el año 3 real anterior menos el pronóstico del año 3 anterior. La constante alfa varía acorde a la necesidad, dando mayor peso a los años recientes. Hay que observar que en el pronóstico para PMS, PMP y SE, se realizaron a

partir del tercer año y que los últimos años los pronósticos se realizaros sobre el pronóstico del año anterior.

- 4- Regresión Lineal Simple (RLS): se obtuvo la ecuación de regresión lineal simple de la serie histórica de “x” años considerados (1999-2020) y con esa ecuación de regresión lineal simple ajustada se obtuvo el pronóstico de la producción para el año 2023-2024. Las series históricas comprenden entre cinco y 14 años de análisis, dependiendo de la data de cada rubro.
- 5- Regresión Polinómica de tercer grado (RP³): Se obtuvo la ecuación de regresión polinómica de tercer grado para la serie histórica de “x” años (1999-2020) y con esa ecuación de regresión polinómica ajustada se obtuvo el pronóstico de la producción para el año agrícola 2023-2024.

En cada uno de los cinco métodos donde se corrió la serie histórica de datos de cada rubro se obtuvo la ecuación de pronóstico, el pronóstico, el error promedio, la desviación media absoluta (MAD), el error cuadrado medio (MSE) y el error medio porcentual absoluto (MAPE) de la producción pronosticada.

Los criterios de selección del mejor pronóstico fueron: a) Un coeficiente de determinación del modelo superior a 0.70 (mayor al 70%); b) Un resultado del pronóstico en números reales positivos (ya que la producción no puede ser negativa); c) El menor MAPE de todos los pronósticos. Una vez considerado el criterio 1 y 2, entonces se consideró el criterio 3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta para su discusión los resultados de la serie histórica de datos considerados en esta investigación.

La tabla 1 muestra las estadísticas básicas de la serie histórica considerada para esta investigación y se puede observar que para el año agrícola 2019-20, de los 30 rubros analizados, en 16 casos la producción estuvo por debajo del promedio de la serie histórica.

Tabla 1. Estadísticas de 30 Cultivos Agrícolas de Panamá. (1999-2020).

x	Rubro y años de la serie histórica*	Unidad	# Años	Total (qq)	Promedio Anual	Devest	Max	Min	Producción 2019-2020*
1	Arroz mec. (2009-20)	qq	11	70,306,558	6,391,505	788,549	7,763,963	5,172,879	7,763,963
2	Maíz mec. (2009-20)	qq	11	18,891,445	1,717,404	399,125	2,148,562	1,038,114	2,019,067
3	Maíz a chuzo con tecnología (2007-20)	qq	13	3,284,914	252,686	85,777	400,571	77,923	195,243
4	Sorgo (2008-20)	qq	12	804,081	67,007	38,377	121,538	8,900	80,421
5	Poroto (2009-20)	qq	12	723,165	65,742	25,737	98,357	28,965	28,965
6	Frijol vigna (2009-20)	qq	11	441,996	40,181	19,113	68,588	12,580	49,299
7	Guandú (2009-20)	qq	11	52,158	4,742	2,034	8,601	2,215	6,350
8	Yuca (2009-20)	qq	11	4,593,195	417,563	126,570	574,750	194,141	574,750
9	Ñame (2009-20)	qq	11	3,610,597	328,236	106,040	519,564	166,074	343,210
10	Ñampi (2009-20)	qq	11	330,025	30,002	10,650	50,724	15,019	42,542
11	Papa (2006-20)	qq	14	7,709,833	550,702	65,902	687,390	463,818	513,715
12	Cebolla (2009-20)	qq	11	4,036,588	366,963	88,986	541,040	250,905	313,669
13	Tomate ind. (2009-20)	qq	11	1,639,959	149,087	36,578	190,669	63,800	148,076
14	Zapallo (export. mas local), (2009-20)	qq	11	1,596,685	145,153	46,179	232,935	51,747	128,786
15	Melón (export mas local) (2009-20)	qq	11	2,259,121	205,375	257,887	967,364	49,328	135,475
16	Sandía (2009-20)	qq	11	7,567,554	687,959	221,374	1,210,269	406,685	584,036
17	Piña (2015-20)	qq	5	12,136,156	2,427,231	582,137	3,146,334	1,936,802	2,115,103
18	Plátano (2015-20)	qq	5	18,735,955	3,747,191	409,013	4,213,010	3,206,958	4,213,010
19	Papaya (2015-20)	qq	5	1,593,157	318,631	89,275	469,647	239,188	281,550
20	Naranja (2009-20)	qq	5	24,694,111	4,938,822	246,729	5,128,530	4,541,030	5,060,581
21	Café (2015-20)	qq	5	951,182	190,237	15,176	205,608	166,936	205,608
22	Palma aceite (2015-20)		5	23,137,870	4,627,574	1,247,011	5,558,332	2,754,432	5,558,332
23	Caña azúcar (2015-20)	Ton	5	233,164,050	46,632,810	1,698,016	48,896,643	44,921,778	48,896,643
24	Pimentón (2015-20)	qq	5	581,835	116,367	70,449	219,540	48,179	156,910
25	Calabacín (1999-12)**	qq	8	2,004,781	250,598	182,066	466,876	1,148	1,148
26	Tomate mesa (2015-20)	qq	5	1,023,719	204,744	37,841	267,905	170,741	188,612
27	Zanahoria Ch (2015-20)	qq	5	77,829	15,566	17,948	35,937	2,150	2,150
28	Lechuga Ch (2015-20)	qq	5	173,124	34,625	21,145	64,300	9,900	9,900
29	Apio Ch (2015-2020)	qq	5	100,095	20,019	22,844	48,300	1,200	1,200
30	Repollo Ch (2015-20)	qq	5	165,723	33,145	30,781	78,790	2,520	2,520

* Último año considerado para el análisis de datos

** Los datos del calabacín provienen de años no consecutivos.

Observación: Las casillas en gris indican que la producción del último año considerado estuvo por debajo del promedio histórico de la serie.
Fuente: Propia, basada en los análisis de datos Dirección Nacional de planificación (MIDA, 2021). Cada quintal (qq) equivale a 45.3592 kilogramos.

En la tabla 2 se muestran cinco tipos de pronósticos, y la tendencia de regresión lineal de la data, utilizados en esta investigación, para predecir la producción de 30 rubros agrícolas, para el año agrícola 2023-2024 en Panamá.

Tabla 2. Pronósticos R2 y MAPE para 30 rubros agrícolas en Panamá.

SERIE HISTÓRICA				Métodos de pronósticos, R2 y MAPE para el año 2023-2024*					
#	Rubros y años comprendidos	Unidad	# Años	PM	PMP	SE	RLS	Tendencia RLS **	RP°3
1	Arroz mecanizado (2009-2020) (en cáscara húmedo)	qq	11	7,405,844	7,348,808	7,040,439	7,276,865	+	14,836,080
	R2						40.80%		62.60%
	MAPE			9.50%	8.60%	9.70%	10.80%		8.30%
2	Maíz mecanizado (2009-2020)	qq	11	1,930,353	1,916,506	1,863,573	1,761,640	++	4,818,368
	R2						17.80%		31.80%
	MAPE			27.90%	26.10%	24.00%	26.60%		17.60%
3	MAIZ A CHUZO CON TECNOLOGÍA (2007-2020)	qq	13	254,245	263,511	256,235	286,604	-	336,921
	R2						2.40%		33.10%
	MAPE			30.20%	30.50%	23.50%	37.30%		25.10%
4	SORGO (2008-2020)	qq	12	51,031	46,295	43,554	9,113	--	412,560
	R2						32.80%		60.70%
	MAPE			91.40%	83.10%	118.80%	84.00%		47.10%
5	POROTO (2008-2020)	qq	12	30,478	30,726	42,996	16,102	-	-188,661
	R2						40.90%		62.40%
	MAPE			41.70%	36.10%	47.80%	27.90%		34.10%
6	FRIJOL VIGNA (2009-2020)	qq	11	40,482	39,170	40,955	42,065	+ -	-
	R2						0.10%		37,641
	MAPE			61.20%	64.00%	51.90%	54.90%		10.30%
7	GUANDÚ (2009-2020)	qq	11	6,420	6,427	5,952	8,451	++	7,859
	R2						45.20%		48.90%
	MAPE			29.30%	30.00%	25.30%	23.40%		22.90%
8	YUCA (2009-2020)	qq	11	407,908	381,588	386,292	315,352	-	1,544,590
	R2						8.90%		30.70%
	MAPE			40.80%	40.50%	36.90%	27.20%		24.70%
9	ÑAME (2009-2020)	qq	11	269,298	257,707	265,275	163,869	-	1,523,629
	R2						32.60%		64.40%
	MAPE			32.70%	31.40%	32.10%	24.60%		18.00%
10	ÑAMPI (2009-2020)	qq	11	40,467	40,168	36,403	43,146	++	103,876
	R2						20.30%		31.50%
	MAPE			24.40%	27.50%	26.00%	31.40%		27.40%
11	PAPA (2006-2020)	qq	14	552,801	558,913	554,501	548,650	-	486,679
	R2						0.00%		11.50%
	MAPE			13.10%	13.20%	19.60%	9.80%		9.30%
12	CEBOLLA (2009-2020)	qq	11	307,608	306,739	312,086	181,168	--	610,232
	R2						59.20%		69.70%
	MAPE			15.70%	16.60%	17.90%	13.20%		10.90%

SERIE HISTÓRICA				Métodos de pronósticos, R2 y MAPE para el año 2023-2024*					
#	Rubros y años comprendidos	Unidad	# Años	PM	PMP	SE	RLS	Tendencia RLS **	RP°3
13	TOMATE INDUSTRIAL (2009-2020)	qq	11	142,811	141,938	138,559	99,186	-	348,768
	R2						25.30%		44.10%
	MAPE			33.70%	32.30%	31.20%	20.90%		16.40%
14	ZAPALLO (EXPORT. MAS LOCAL), (2009-2020)	qq	11	140,892	142,860	139,813	89,414	-	-22,883
	R2						19.80%		75.10%
	MAPE			38.30%	36.10%	42.00%	30.50%		17.40%
15	MELÓN (LOCAL Y EXPORTACIÓN), (2009-2020)	qq	11	127,686	126,429	124,760	-187,772	-	-1,779,905
	R2						31.60%		83.40%
	MAPE			61.50%	52.80%	121.90%	102.10%		301.80%
16	SANDÍA (2009-2020)	qq	11	613,343	617,760	610,634	343,440	-	-788,233
	R2						32.90%		63.70%
	MAPE			31.60%	29.40%	29.60%	22.80%		73.70%
17	PIÑA (2015-2020)	qq	5	2,038,575	2,026,263	2,276,816	407,478	-	30,087,821
	R2						61.20%		85.10%
	MAPE			31.50%	27.90%	33.40%	14.90%		11.50%
18	PLÁTANO (2015-2020)	qq	5	4,077,994	4,056,322	3,863,525	5,264,652	+	4,466,759
	R2						94.60%		96.30%
	MAPE			9.50%	8.20%	12.10%	1.90%		5.40%
19	PAPAYA (2015-2020)	qq	5	286,489	287,359	306,623	407,478	-	30,087,821
	R2						61.20%		85.10%
	MAPE			5.90%	4.60%	14.60%	593.20%		759.50%
20	NARANJA (2009-2020)	qq	5	4,874,243	4,845,604	4,899,919	4,856,162	-	29,938,683
	R2						61.20%		85.10%
	MAPE			6.70%	7.20%	6.10%	4.00%		21.60%
21	CAFÉ (2015-2020)	qq	5	192,878	190,806	190,564	194,768	+ -	1,081,157
	R2						0.60%		71.00%
	MAPE			11.10%	11.90%	9.40%	6.40%		3.40%
22	PALMA ACEITERA (2015-2020)	qq	5	5,490,239	5,479,558	4,946,910	9,368,283	++	-2,579,766
	R2						80.50%		96.30%
	MAPE			18.00%	14.70%	25.40%	15.90%		4.30%
23	CAÑA DE AZÚCAR (2015-2020)	Ton	5	48,107,161	47,979,762	47,142,215	49,000,000	++	48,978,014
	R2						94.20%		96.20%
	MAPE			3.60%	3.30%	4.30%	7.80%		12.40%
24	PIMENTÓN (2015-2020)	qq	5	123,964	119,036	116,240	188,734	+	1,994,392
	R2						7.30%		17.10%

SERIE HISTÓRICA				Métodos de pronósticos, R2 y MAPE para el año 2023-2024*					
#	Rubros y años comprendidos	Unidad	# Años	PM	PMP	SE	RLS	Tendencia RLS **	RP ³
25	MAPE			94.20%	122.10%	94.50%	55.30%		56.20%
	CALABACIN (1999-2012)	qq	8	28,687	33,180	124,044	-161,625	--	1,221,777
	R2						54.70%		94.60%
26	MAPE			1090.30%	942.20%	8179.30%	673.60%		105.10%
	TOMATE MESA (2015-2020)	qq	5	181,752	180,687	195,597	86,569	-	430,047.05
	R2						67.70%		99.10%
27	MAPE			16.20%	13.80%	20.00%	9.20%		1.50%
	ZANAHORIA EN CHIRIQUÍ (2015-2020)	qq	5	18,502	21,121	17,646	34,401	+	-
	R2						7.70%		94.60%
28	MAPE			558.00%	547.00%	383.40%	330.30%		49.80%
	LECHUGA EN CHIRIQUÍ (2015-2020)	qq	5	22,911	24,948	31,138	-13,026	-	152,866.30
	R2						35.30%		46.20%
29	MAPE			124.60%	155.40%	157.80%	54.20%		44.30%
	APIO EN CHIRIQUÍ (2015-2020)	qq	5	2,366	2,561	13,431	-59,823	-	540,337.70
	R2						84.80%		95.20%
30	MAPE			579.80%	452.50%	1028.90%	208.20%		83.30%
	REPOLLO EN CHIRIQUÍ (2015-2020)	qq	5	9,809	10,977	24,811	-78,079	-	-104,966.00
	R2						90.70%		97.80%
	MAPE			316.10%	289.60%	553.10%	73.70%		23.10%

*Pronósticos: PM= Promedio Móvil; PMP=Promedio móvil ponderado; SE= Suavización Exponencial; RLS=Regresión Lineal simple; RP= Regresión Polinómica de 3er °

** Tendencia: +++ rápido crecimiento, ++ crecimiento moderado, -= rápido decrecimiento, -= decrecimiento moderado, -o+= producción constante.

Observación: Cifras en **negrita** indican pronóstico sugerido dado el menor MAPE y/o un pronóstico real positivo con un R² mayor al 70% para la determinación del modelo en la ecuación obtenida de la data.

Fuente: propia

En la tabla 2 se observan los resultados de cinco tipos de pronósticos considerados para cada uno de los 30 rubros analizados por la variable de producción en función de los años. A fin de seleccionar el mejor método de pronóstico, se procedió en base a tres criterios técnicos: a) un coeficiente de determinación (R²) mayor a 0.70, a fin de que la ecuación de regresión para modelar los resultados tuviese un alto porcentaje de predicción; b) el menor MAPE probable de los cinco tipos de pronósticos obtenidos en la corrida de datos de cada rubro; c) un resultado en números reales positivos del pronóstico en sí, tomado en consideración que la producción no puede ser negativa. Acorde a lo anterior, los 30 rubros se agruparon según el tipo de pronóstico seleccionado, tal como sigue:

PMS (6 rubros): ñampí, papa, cebolla, piña, pimentón y lechuga en Chiriquí.

PMP (14 rubros): arroz mecanizado, sorgo, poroto, ñame, zapallo, melón, sandía, papaya, palma aceitera, caña de azúcar, calabacín, tomate de mesa, apio en Chiriquí y repollo en Chiriquí.

SE (9 rubros): maíz mecanizado, maíz a chuzo con tecnología, frijol vigna, guandú, yuca, tomate industrial, naranja, café y zanahoria.

RLS (0 rubros).

RP³ (1 rubro): plátano.

Para analizar la tendencia en términos de crecimiento o decrecimiento de la variable producción del rubro, después del año 2019, se consideró la ecuación de regresión lineal de la serie de datos considerada.

- De los 30 rubros considerados, 19 mostraron que la producción en Panamá, después del año 2019, tenía tendencia a decrecer en los años subsiguientes; entre ellos: maíz a chuzo, sorgo, poroto, yuca, ñame, papa, cebolla, tomate industrial, zapallo, melón, sandía, piña, papaya, naranja, calabacín, tomate de mesa, lechuga en Chiriquí, apio en Chiriquí y repollo en Chiriquí.
- DE los 30 rubros considerados, sólo 19 de ellos mostraron una tendencia al alza en la producción en Panamá después del año 2019. Estos rubros son: arroz mecanizado, maíz mecanizado, guandú, ñampí, plátano, palma aceitera, caña de azúcar, pimentón y zanahoria en Chiriquí.
- De los 30 rubros considerados, dos de ellos mostraron que la producción en Panamá, después del año 2019, tenía tendencia a ser constante (sostenible) en los años subsiguientes; esos rubros son: el frijol vigna y el café.
- El MAPE, de un total de 30 casos, fue inferior al 67% en 23 casos, estuvo entre 68% y 100% en dos casos, y fue superior al 100% en 5 casos. El mejor coeficiente de determinación (R^2) siempre lo obtuvo la función de RP³; de los 30 casos, en 12 el R^2 fue superior al 75%, en 8 estuvo entre 51 y 75%, en 7 entre 26 y 50% y en tres menor al 25%.

CONCLUSIONES

De la presente investigación se concluye lo siguiente:

- Los resultados de pronósticos para predecir la producción de cultivos agrícolas pueden variar de un método a otro, dependiendo del alto coeficiente de determinación (R^2) del modelo de regresión, de un resultado de pronóstico en números reales positivos y, finalmente, del menor error porcentual de desviación absoluta (MAPE).

- La selección de un pronóstico entre varias alternativas es una opción a considerar para realizar mejores presupuestos y predicciones sobre la cosecha futura.
- Las tendencias y el coeficiente de determinación (R^2) del análisis estadístico de las series históricas dependen, de la distribución de los datos.
- En general, para el análisis de datos, el menor porcentaje de error medio absoluto (MAPE) y un alto coeficiente de determinación (R^2) son de gran ayuda para seleccionar el mejor pronóstico.
- A menor período de tiempo, menor riesgo e incertidumbre en la predicción de los pronósticos. Los pronósticos de producción dependen de múltiples factores, no solo de la producción y del tiempo.
- El conocimiento y aplicación de los métodos y técnicas de pronóstico constituyen una poderosa herramienta para que el administrador de empresas agropecuarias pueda disminuir riesgos e incertidumbre en la planificación de presupuestos de producción y los estados financieros proyectados.

AGRADECIMIENTO

El Grupo de Investigación Tecnologías y Métodos Cuantitativos Aplicados a la Agricultura (TECMECAP) agradece a cada uno de sus miembros por su colaboración en esta investigación. Asimismo, agradece al Dr. Luis Wong de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá por sus útiles comentarios. Agradece, además, a las instituciones del sector agropecuario, a los productores, a los profesionales y estudiantes del agro por su interés en la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

Anderson D. R; Sweeney D. J.; Williams R., Thomas A.; Jeffrey D; Kipp M. (2011). Métodos cuantitativos para los negocios; 11a. ed. Traducido del libro: Quantitative Methods for Business, 11a. Ed. Publicado en inglés por South-Western Cengage Learning; ISBN 13: 978-0-324-65181-2; ISBN 10: 0-324-65181-3

Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., & Martin, K. (2011). Capítulo 6: Elaboración de Pronósticos.
[https: - Anderson D. R, Métodos Cuantitativos para los Negocios \(11 ed., págs. 182-216\). México DF, México: Cengage Learning. Métodos cuantitativos para los negocios \(utn.edu.ar\)](https://utn.edu.ar)

Alonso, A. M. (2007). Introducción al Análisis de Series Temporales.

<https://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/amalonso/esp/seriestemporals.pdf>

Ayala, C. E. (2019). Breve Historia de la Econometría.

<https://www.timetoast.com/timelines/breve-historia-de-la-econometria>

Gallagher, C. A., & Watson, H. J. (1982). Pronóstico del Futuro. Método Cuantitativo para la Toma de Decisiones en Administración (M. G. Osuna, Trad., págs. 114-127). Juárez, México: McGRAW-HILL.

[Gallagher Charles A - Métodos Cuantitativos Para La Toma De Decisiones En - \[PDF Document\] \(vdocument.in\)](#)

Gutiérrez, A. F. (2013). Manual de Pronósticos para la Toma de Decisiones.

<http://prod77ms.itesm.mx/podcast/EDTM/P007.pdf>

IMA. (2020). Calendario de Rubros.

<https://web.ima.gob.pa/wp-content/uploads/2020/06/calendario-de-rubros.pdf>

IMA. (2021). Catálogo de Rubros Cultivados en Panamá.

https://web.ima.gob.pa/wp-content/uploads/2021/04/CATALOGO-RUBROS-2021_28_04.pdf

MIDA. (2021). Dirección Nacional de Planificación.

[seriehistorica1990-2020.xls \(live.com\)](#). [Resumen Mensual de los Programas \(mida.gob.pa\)](#)

Monks, J.G. (1996). Administración de Operaciones. McGraw-Hill. México pág: 162-187.

Renders, B., Stair, R.M., Hanna, M.E. (2012). Métodos Cuantitativos para los Negocios. Undécima edición. Pearson Education, México, 2012.

SAS [Institute](#), (2021). <https://support.sas.com/en/software/ondemand-for-academics-support.html>

Toro, P., García, A., Aguilar, C., Acero, R., Perea, J., Vera, R. (2010). Modelos **Económicos** para el **Desarrollo** de **Funciones** de **Producción**. Documentos de trabajo: producción animal y gestión. ISSN: 1698-4226 DT 13, Vol. 1/2010 1. Departamento de producción animal; Universidad de Córdoba, España.

[Microsoft Word - Modelos2\[1\].doc \(uco.es\)](#)

Torres Barrón, M. D. (2011). Pronósticos, una Herramienta Clave **para** la Planeación de las Empresas.

<https://www.itson.mx/publicaciones/pacioli/Documents/no71/47a->

[pronosticos%2C una herramienta clave para la planeacion de las empresas.pdf](#)

Vargas Avilés, J. R. (2014). Prácticas de IO con POM-QM.

<https://jrvargas.files.wordpress.com/2008/08/practicas-de-io-con-pom-qm2.pdf>

Weiss, H. J. (2005). Forecasting (Pronósticos). POM - QM for Windows version3 (H. E. Villaverde, Trad., 3 ed., págs. 97-112). Lima, Perú: Pearson Education.

Manual del POM en castellano by Angel Agüero - Issuu

Weiss, H. J. (2021). POM-QM for Windows including POM for Windows and QM for Windows Versions 5, 4 and 3 of and for Version 4 of Excel OM/QM for Windows/Mac and 3 and 2 of Excel OM/QM.

TECNOLOGÍA DE PRECISIÓN COMO HERRAMIENTA PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE VACAS LECHERAS EN PASTOREO

PRECISION TECHNOLOGY AS A TOOL TO INCREASE THE REPRODUCTIVE EFFICIENCY OF GRAZING DAIRY COWS

Efraín Quintero Chanis. Servicio de Reproducción Animal SRA, S.C. C. Panamá. reneejr@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-1737-1521>

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

Ana Strappinni. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. Chile. anastrappini@uach.cl. <https://orcid.org/0000-0002-7203-3472>

Fabiola Matamala. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias. Escuela de Graduados. Chile. fabiolamatamalahernandez@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-9758-0501>

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

Recibido: 14/07/2022

Aceptado: 10/03/2023

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de los monitores automáticos de actividad (MMA) sobre el desempeño reproductivo de vacas Holstein en lactancia en condiciones de pastoriles. El estudio se llevó a cabo en Cuesta de Piedra, provincia de Chiriquí, Panamá. Se utilizaron vacas Holstein (n=682). Se conformaron dos grupos: grupo 1, vacas provistas de collares electrónicos Silent Herdsman (Afimilk) (n=487), y el grupo 2, vacas sin collares electrónicos (n=195), empleando la observación visual para la detección del estro, (sesiones de 45 minutos, 3 veces al día) evaluando signos primarios y secundarios. Para el análisis estadístico se utilizaron Modelos Lineales Generales Mixtos. La tasa de detección de estro fue del 63% en las vacas equipadas con collares electrónicos y del 40% cuando se utilizó la observación visual ($p < 0,05$). La probabilidad de expresión del comportamiento de estro estuvo afectada por el número de lactancias y el método de detección del estro utilizado ($p < 0,05$). Las primíparas y vacas con dos y tres lactancias tuvieron más probabilidades de presentar estro que las vacas con más lactancias. La tasa de concepción no difirió entre los métodos de detección de estro ($p > 0,05$). Finalmente, la eficiencia reproductiva estimada mediante la tasa de preñez (TP-21 d) fue mayor cuando el estro fue detectado por collares electrónicos que cuando se detectó visualmente 21% y 14%, respectivamente. En conclusión, emplear tecnología de precisión (collares electrónicos) mejora la eficiencia reproductiva de vacas Holstein en lactancia mantenidas en condiciones pastoriles.

PALABRAS CLAVE: comportamiento, detección de estro, eficiencia reproductiva, monitor automático de actividad, vacas lecheras.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the impact of the precision farming technology (electronic collars) on the reproductive performance of lactating cows under pastoral conditions in Panama. Primiparous and multiparous Holstein cows (n=682) were used. Two groups were formed: group 1, cows equipped with electronic collars (Silent Herdsman, Afimilk) (n=487), and group 2, cows without electronic collars (n=195), using visual observation to detect estrus, (sessions of 45 minutes, 3 times a day) evaluating primary and secondary signs. For the statistical analysis, Mixed General Linear Models were used. The estrus detection rate was 63% in cows equipped with electronic collars and 40% when visual observation was used ($p < 0.05$). The probability of estrus behavior expression was affected by the number of lactations and the estrous detection method used ($p < 0.05$). Primiparous, and two and three lactation cows were more likely to express have estrus than cows with more lactations. Milk production (kg/d) did not affect the expression of estrus ($p = 0.13$). The conception rate did not differ between the estrus detection methods used ($p > 0.05$), being 33 and 36% for the estrus detected by the electronic collars and visual observation, respectively. Finally, the reproductive efficiency estimated through the pregnancy rate (TP-21 d) was higher when estrus was detected by electronic collars than when it was visually detected (21% and 14%; $\chi^2 = 1.70$; $p = 0.13$, respectively). In conclusion, the use of precision technology (electronic collars) improves the reproductive efficiency of lactating Holstein cows kept under grazing conditions.

KEYWORDS: behavior, estrus detection, reproductive efficiency, automatic activity monitor, dairy cattle.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran preocupación por parte de los ganaderos, científicos y técnicos de todo el mundo por mejorar la fertilidad de las vacas lecheras, ya que es un componente crítico dentro del sistema de producción (Pinedo et al., 2020) y cualquier falla en lograr y mantener la preñez afecta directamente a la eficiencia reproductiva (Benaissa, 2020; Stevenson, 2014), incurriendo en pérdidas económicas y en la sostenibilidad de las explotaciones lecheras. Por lo tanto, necesitamos adoptar estrategias tecnológicas que nos ayuden a incrementar la eficiencia reproductiva, respetando el bienestar de los animales. En este sentido, la detección oportuna y precisa del estro es un factor determinante.

En los últimos años, la fertilidad del ganado lechero ha disminuido (Madoz *et al.*, 2021). De acuerdo con la literatura, el éxito en la detección visual del estro, es bajo debido a corta duración y baja intensidad (Mee, 2004), explicado en parte por los altos niveles de producción de leche (López-Gatius et al., 2005). Por lo tanto, cualquier mejora en la detección del estro mejoraría la eficiencia reproductiva (Pfeiffer, Gandorfer & Ettema, 2020).

Actualmente el método más empleado por los productores para la detección de estro sigue siendo la observación visual, sin embargo, el éxito de este método depende del personal que realiza esta labor, la hora del día, la frecuencia y duración de la observación, además de que la vaca muestre su comportamiento de estro. Ante esta problemática se han desarrollado equipos con tecnología de precisión, tales como monitores automatizados de actividad (Crowe, Hostens, & Opsomer, 2018; Lovendahl & Chagunda, 2010), permitiendo el monitoreo del comportamiento de las vacas en tiempo real durante 24 horas, con la finalidad de mejorar la gestión individual de animales, aumentando la eficiencia general de la reproducción y por ende de la producción (Wathes et al., 2008). A pesar de que se ha reportado que la eficiencia de las herramientas para detección de estro varían entre estudios, se ha demostrado que éstas son mejores que la observación visual (Roelofs & Kooij, 2015; Silper et al., 2015).

La utilización de tecnologías de precisión en la industria láctea proporciona potenciales beneficios a los productores al monitorear indicadores de comportamiento, fisiológicos o de producción para detectar estro (Stone et al., 2017) sin perturbar la expresión natural de del comportamiento de las vacas (Müller & Schrader, 2003). Sin embargo, la extrapolación de los resultados de estudios llevados a cabo en sistemas estabulados usando podómetros o acelerómetros para la detección automática del estro en sistemas pastoriles es cuestionable, ya que las vacas bajo estas condiciones tienen niveles más altos de actividad debido al sistema productivo y a la rotación en las praderas (Aungier et al., 2012). A su vez, existen muchas irregularidades en la topografía de los potreros, lo que podría mermar la eficiencia de los dispositivos electrónicos en la detección de estro.

Son pocos los estudios que han empleado la tecnología de precisión (collares electrónicos) para la detección de estro en condiciones pastoriles, la mayoría se han realizado en condiciones experimentales (Aungier et al., 2012; McGowan et al., 2007; Palmer et al., 2010; Sakaguchi et al., 2007) y algunos en granjas lecheras comerciales a gran escala (Brassel et al., 2018; Dela Rue et al., 2014; Kamphuis et al., 2012). El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad para la detección de estro de dos sistemas (visual y electrónico) en vacas Holstein lactantes bajo

condiciones pastoriles en Panamá. Nuestra hipótesis fue que la eficiencia reproductiva mejora cuando se utiliza tecnología de precisión (collares electrónicos) para la detección del estro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó en un establecimiento comercial en la cuenca lechera de Chiriquí, Panamá a una altitud de 1068 metros (8°42'03,0"N 82°37'30,9"W). Esta zona, se caracteriza por tener un clima templado y lluvioso, con temperaturas que pueden oscilar entre 13 – 30 °C, humedad relativa anual de 80,3% y pluviosidad de 2000 mm anual (1000 – 3000 mm), (Hidromet, 2017). Este estudio se realizó durante 84 días continuos en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2017.

Animales

Se utilizaron vacas Holstein (n=682) con condición corporal promedio de $3,0 \pm 0,2$ puntos; $3,0 \pm 2,10$ lactancias; con $131,5 \pm 80,57$ días posparto. Siendo seleccionadas aquellas que contaban con más de 45 días post parto (rango 46 a 404 DPP), condición corporal entre 2,5 – 3,5 (escala 1-5; Edmonson et al., 1989) y sanas al examen clínico.

Identificación y manejo de los animales

Cada animal fue identificado con un código único de acuerdo con el programa nacional de trazabilidad bovina y equipado con un collar (Silent Herdsman, AFIMILK; Israel). Este último consta de sensores de rumia y actividad adosados a un tag, unidades de identificación y un software para el procesamiento de los registros electrónicos. Para el manejo y gestión del rebaño se utilizó el Software VAMPP bovino 3.0 en donde se registró la información de cada animal. Los datos individuales de las alarmas de estro se extrajeron del Software Silent Herdsman semanalmente. Las vacas se ordeñaron dos veces al día; el primer ordeño se realizó a las 04:00 h y el segundo a las 15:00 h. Al finalizar cada ordeño, las vacas fueron trasladadas hasta un potrero situado a una distancia aproximada de 850 m, donde permanecieron hasta el siguiente ordeño.

Las mimas se mantuvieron en un sistema de pastoreo rotacional con cerco eléctrico con periodos de ocupación de un día en cada potrero. Las pasturas consistieron en pasto estrella africana (*Cynodon nlemfluensis*) combinada con pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*), cuyo contenido bromatológico consistió en un 17,0 % de materia seca (MS), 19,0% de proteína cruda (PC), 69,0% de fibra neutro detergente (FDN) y 0.51 Mcal/lb de energía neta de lactancia (ENL). Previo al ordeño los animales recibieron una ración compuesta por ensilaje de *Panicum maximum* cv. Mombasa (31,5% MS; 5,4% PC; FDN=68,1%; 0,91 Mcal/kg ENL), heno y agua *ad libitum*. Además, se complementó la dieta con 9,19 kg de concentrado entregado en la sala de ordeño, fraccionado en dos comidas para cumplir con los requerimientos de nutrientes para vacas lecheras en lactancia que producen en promedio 25,0 kg de leche con 3,5% de grasa según los requerimientos de la NRC (National Research Council, 2001). El concentrado al igual que el

ensilaje se suministró según el nivel de producción y etapa de la lactancia.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Los animales se asignaron aleatoriamente a dos grupos. Un grupo fue equipado con collares electrónicos (n=487), y un segundo grupo sin dispositivos electrónicos donde la detección del estro se realizó por observación visual (n=195).

Métodos para detección de estro

Detección automática de vaca en estro.

Un total de 487 vacas fueron equipadas con un collar electrónico (Silent Herdsman, AFIMILK; Israel). Los collares se colocaron quince días antes de finalizar el período de espera voluntario para que se ajustara según la actividad de cada vaca. Se definió vaca en estro como un animal cuyo equipo generaba una alarma por el sistema. Cuando alarmas de estro que fueran generadas por el collar electrónico, se determinó un tiempo de inseminación de 10 a 12 horas después de la alarma.

Detección visual de vaca en estro

Un observador entrenado con treinta años de experiencia en la detección de estro, evaluó y registró la ocurrencia de signos primarios y secundarios de estro en 195 vacas, siguiendo el protocolo descrito por Van Eerdenburg et al. (1996). Estos signos fueron: quietud a la monta como signo primario; a su vez se evaluó la descarga de mucus vulvar, inquietud, cajoling, flehmen, olfateo anogenital, apoyo de quijada, es montada pero no queda quieta, monta o intenta montar y monta desorientada como signos secundarios. Las observaciones visuales se realizaron tres veces al día (07:30; 12:45 y 17:30 h), durante 45 minutos por cada sesión en el potrero. Una vaca se definió en estro cuando obtuvo una puntuación de ≥ 100 en las observaciones visuales durante un período de 24 horas con base en un sistema de puntuación acumulativa descrito por Van Eerdenburg et al. (1996). La inseminación se realizó siguiendo la pauta (AM-PM), descrita por Trimberger (1948).

La tasa de detección de estro se calculó con la siguiente fórmula: Tasa de detección de estro (TDC) = (Vacas en estro) / (Vacas elegibles) (100)

La tasa de concepción se calculó en base al número de vacas preñadas sobre el total de vacas que fueron inseminadas de acuerdo con la siguiente fórmula:

Tasa de concepción (TC) = (Vacas preñadas) / (Vacas servidas) (100) y la eficiencia reproductiva (Tasa de preñez 21d) se calculó mediante la siguiente fórmula:

TP 21d = (TDC)*(TC)/100 Donde: TP 21d = tasa de preñez 21d; TDC = Tasa de detección de estro; TC = tasa de concepción. La inseminación artificial fue realizada por un solo técnico.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se ingresaron en una hoja de cálculo de Excel (Microsoft Excel 2022) para su procesamiento y el análisis estadístico se realizó utilizando R 4.1.3 (2022-03-10). Los resultados se expresaron mediante gráficos utilizando GraphPad Prism V.9.0.2 (San Diego, CA, EE. UU.). Se utilizaron modelos lineales generales mixtos (Bates et al., 2021), ajustados con distribución binomial y función con enlace “log” para evaluar la tasa de estro y concepción, utilizando un análisis para la familia de datos binarios (0=vacia, 1= preñada) y también (0=sin estro, 1=estro). Para seleccionar el mejor ajuste de los modelos se empleó el criterio de información de Akaike (AIC; 'AIC{stats}') y Schwarz Bayesian (BIC; 'BIC {stats}'). Se realizó la prueba post hoc de Tukey. Los valores se expresan como medias de mínimos cuadrados (LSM) \pm errores estándar de la media (SEM) y mediante Odds ratios (OR). Diferencias significativas fueron consideradas cuando $p < 0.05$. Además, se utilizó la prueba de chi cuadrado (χ^2) para determinar las diferencias entre proporciones.

Para evaluar la expresión del estro el modelo final fue:

$$Y_{ijklmno} = \beta + D_i + K_j + L_k + vaca_l + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = tasa de detección de estro; β = Intercepto común; D_i = Sistema de detección de estro (j = Collar electrónico, observación visual); K_j = Producción de leche ($k = < 30$ y ≥ 30 kg/d), L_k = Número de lactancias ($l = 1, 2-3$ y ≥ 4 ; $vaca_l$); = Efecto aleatorio de la vaca; e_{ijkl} = Error residual aleatorio.

Para evaluar la tasa de concepción el modelo final adoptado fue: $Y_{ij} = \beta + L_i + vaca_l + e_{ij}$ Donde: Y_{ij} = Tasa de Concepción; β = Intercepto común; L_i = Número de lactancias ($l = 1, 2-3$ y ≥ 4), $vaca_l$ = Efecto aleatorio de la vaca; e_{ij} = Error residual aleatorio.

RESULTADOS

Vacas en estro

Sesenta y tres por ciento de las vacas fueron consideradas en estro por el sistema electrónico, mientras que un cuarenta por ciento por observación visual activa ($\chi^2 = 10.69$; $p < 0.01$; Figura 1a). Para estimar el porcentaje de alarmas de estro generadas en diferentes momentos del día, se consideró un subconjunto de datos emitidos por el sistema electrónico de 139 vacas. Del total de alarmas de estro generadas ($n = 232$) por el sistema electrónico, el 47% (110/232) ocurrieron durante la noche (18:31 - 06:30) y el 53% (124/232) en el día (06:30 - 18:30 h); ($\chi^2 = 0.36$; $p > 0.05$; Figura 1b).

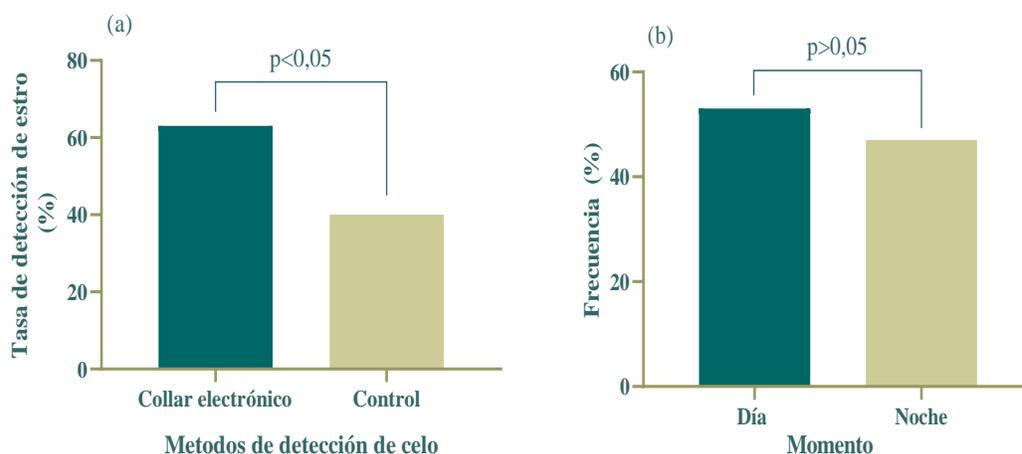


Figura 1. Tasa de detección de estro según método (a) y frecuencia de estro generadas durante el día y la noche por collares electrónicos en vacas Holstein (b).

Las primíparas tuvieron 9,74 (IC 95%; 1,18-79,92) más chances de presentar estro que aquellas con cuatro o más lactancias, consideradas como referencia ($p=0,03$). Mientras que las vacas con dos y tres lactancias presentaron 2,64 (IC 95%; 0,96-7,31) más probabilidad de presentar estro que las la categoría de referencia ($p=0,06$). La producción de leche no afectó la expresión del estro ($p=0,13$). Por otro lado, con los collares electrónicos hubo 3,04 (IC 95%; 1,16-7,97) más probabilidad de detectar estro que a través de la observación visual ($p=0,02$; Tabla 1).

Tabla 1. Efecto del número de lactancias, producción diaria de leche y del método de detección de estro sobre la tasa de detección de estro en vacas Holstein en lactancia ($n=386$)

Efecto fijo		N ^a	OR ^b	IC 95% ^c	p-valor
Lactancias	≥ 3 lactancias	107	Ref.	Ref.	-
	2-3 lactancias	151	2,64	0,96-7,31	0,06
	Primíparas	128	9,74	1,18-79,92	0,03
Producción (kg/día)	>30 kg/día	96	Ref.	Ref.	-
	≤30 kg/día	290	2,06	0,80-5,33	0,13
Método de detección de estro	Observación visual	78	Ref.	Ref.	-
	Collar electrónico	308	3,04	1,16-7,97	0,02

^aN; número de vacas; ^bOR; Odds ratio, ^cIC; Intervalo de confianza al 95%

Tasa de concepción, número de servicios y tasa de preñez- 21 d según método de detección de estro

Las vacas que fueron detectadas en estro por medio de collares electrónicos tuvieron una tasa de concepción (TC) de 33%. Mientras que el grupo de vacas con estro detectado visualmente (control) un 36% ($\chi_1^2=0,20$; $p>0,05$; Figura 2a). Diez animales de 386 por razones desconocidas no recibieron servicios. No hubo diferencias significativas en la tasa de concepción según el número de servicios en ambos métodos de detección de estro ($p>0,05$) El promedio de servicios por concepción fue de 2,14. La TC en el primer servicio fue de 36% (56/155) y 38% (11/29) para el estro detectado por collares electrónicos y por observación visual respectivamente ($\chi_1^2=0,09$; $p>0,05$). Mientras que para los servicios subsecuentes fue del 31% (45/147) para vacas con collares electrónicos y del 38% (17/45) para observación visual ($\chi_1^2=1.08$; $p>0.05$; Figura 2c).

La tasa de preñez en las vacas a las que se les detectó el estro mediante collares electrónicos y observación visual fue de 21% y 14% respectivamente (Figura 2b).

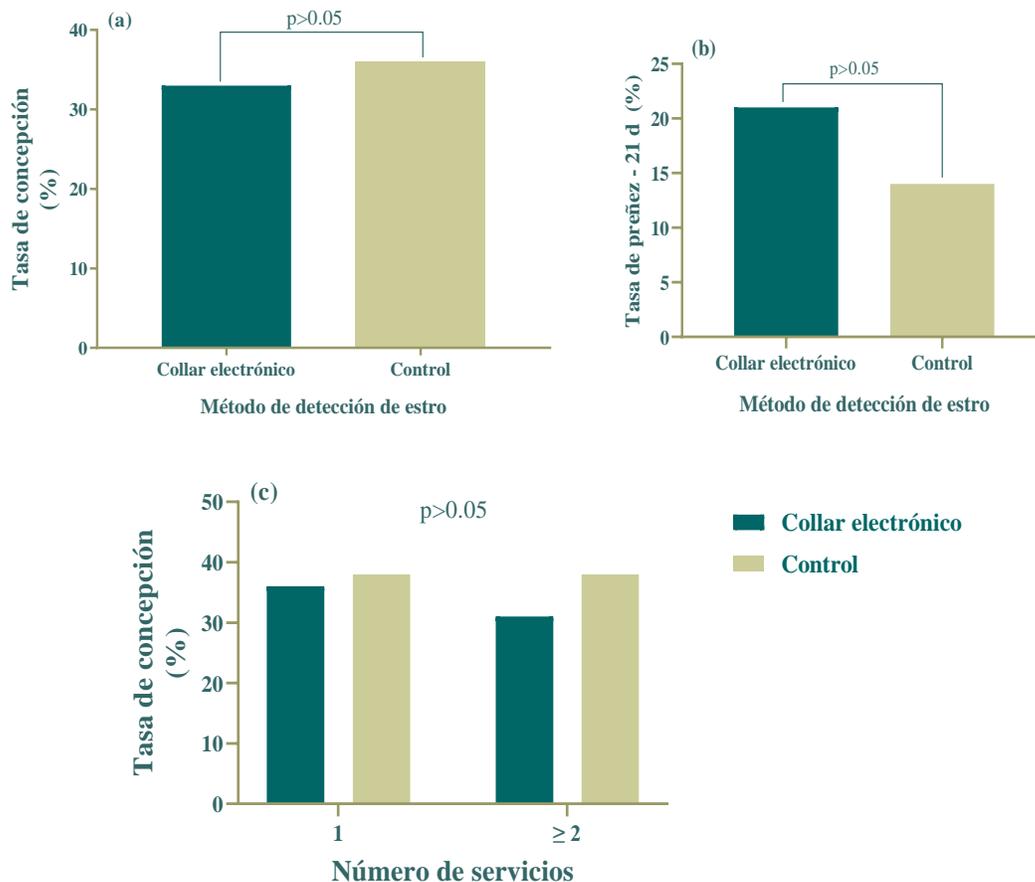


Figura 2. Tasa de concepción (a), número de servicios por concepción (c), y tasa de preñez 21-d (b) en vacas detectadas en estro por collares electrónicos y observación visual (n=386).

Se evaluó el efecto de los días postparto, producción de leche, mes del año sobre la tasa de concepción y solamente la TC fue afectada por el número de lactancias, en donde las primíparas

presentaron 2,52 (IC 95%; 1,37-4,62) más probabilidad de estar gestantes que aquellas vacas con cuatro o más lactancias consideradas como referencia. Mientras que, las vacas con dos y tres lactancias presentaron 1,98 (IC 95%; 1,12-3,52) más chances de presentar una gestación que aquellas vacas con cuatro o más lactancias (Tabla 3). Los días post parto no tuvieron ningún efecto sobre la tasa de concepción (OR=1,0; IC 95%=0,99-1,0).

Tabla 3. Efecto del número de lactancias sobre la tasa de concepción evaluada en vacas Holstein en pastoreo (n = 386)

Efecto fijo		N ^a	TC (%) ^b	OR ^c	IC 95% ^d	p-valor
	≥ 4 lactancias	128	23	Ref	Ref	-
Lactancia	2 - 3 lactancias	151	36	1,98	1,12-3,52	0,01
	Primíparas	107	42	2,52	1,37-4,62	0,002

^aN; número de vacas; ^bTC; Tasa de concepción; ^cOR; Odds ratio; ^dIC; Intervalo de confianza al 95%

DISCUSIÓN

Este es el primer estudio que se realiza en Panamá empelando sensores o monitores automáticos de actividad en la ganadería, el mismo presenta evidencias de que el uso de tecnología de precisión puede mejorar el desempeño reproductivo de las vacas lecheras en condiciones pastoriles.

Los resultados muestran que la tasa de detección de estro fue superior en 23 puntos porcentuales al emplear collares electrónicos, que cuando se utilizó el método de observación visual convencional (63% vs 40%). Esta diferencia puede atribuirse a diferentes factores. Uno de ellos es la hora del día en que se manifiesta el estro. En ese sentido encontramos que el 47% de alarmas de estro emitidas por los collares electrónicos se generaban durante la noche, situación que explicaría esta diferencia. Aunque las observaciones visuales se realizaron durante tres períodos del día, repartidos entre las 7:30 y las 18:15 del día, aquellas vacas que manifiestan estro durante la noche no podrían ser detectadas por este medio. Por el contrario, los collares electrónicos registraron en tiempo real los cambios en la actividad y rumia de los animales las 24 horas del día. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos de Xu et al. (1998), indicando que no hubo variación en la expresión del estro durante el día y la noche. Sin embargo, Peralta et al. (2005), indica que la presentación del comportamiento de estro parece ser más frecuente en la noche que en el día (60 y 40% respectivamente).

Estas variaciones podrían estar asociadas con condiciones de manejo como la alimentación y el ordeño (Nebel et al., 2000). Otra posible explicación es que algunas vacas probablemente no mostraron celo (Palmer et al., 2010) o tuvieron ovulaciones silenciosas (Valenza et al. 2012). Estos resultados confirman el problema actual en la detección visual del celo en vacas lecheras, donde apenas se alcanza un 50% de detección (Chanvallon et al., 2014; López et al., 2004) por lo que se deben utilizar métodos auxiliares. Adicionalmente, la persona que realiza esta labor debe estar capacitada para identificar signos secundarios de comportamiento (Strappini, Ulloa & Ratto 2015),

ya que entre el 37% al 54% de las ovulaciones detectadas en vacas Holstein no están asociadas de la expresión del signo primario de estro “quietud a la monta” (Sakaguchi, 2011).

Existen controversias con respecto a la efectividad de los sistemas electrónicos, según los sistemas de producción en vacas lecheras, debido a que la mayoría de los estudios se han realizado con condiciones de confinamiento. A pesar de esto, nuestros resultados son consistentes con los de Liu & Spahr (1993), quienes relatan tasas de detección de estro de 74% y 57.6% en confinamiento utilizando podómetros y observación visual respectivamente. Lovendahl & Chagunda, (2010), reportan 74,6% utilizando Alpro (DeLaval); Valenza et al. (2012), informaron 71% utilizando Heatime (SCR, Israel). Sin embargo, Leroy, Walton & LeBlanc, (2018), informaron tasas de detección de estro más altas con 83% en granjas comerciales empleando podómetros AfiAct (Afimilk, Kibbutz Afikim, Israel) y Heatime (SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel). Nuestros datos concuerdan con Sauls et al. (2017), informando 63% utilizando MooMonitors (AMS, Dairymaster Inc., Kerney, Irlanda). Sin embargo, Fricke et al. (2014) reportan resultados menores (56%), utilizando, Heatime; SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel.

Revisiones recientes (Pfeiffer et al., 2020), indican que las tasas de detección de estro mediante observación visual oscilan entre 35% (Peter & Bosu, 1986) y 91% (Dela Rue et al., 2012) y mediante monitores automáticos de actividad oscilan entre 59% (Holman et al. , 2011) y 92% (Firk et al., 2003). En condiciones de pastoriles se reportan tasas de detección de estro de 69 y 59% ($p>0.05$) utilizando HeatWatch y observación visual respectivamente (Palmer et al., 2010).

En Irlanda, Aungier et al. (2012), obtuvieron un 72% utilizando Heatime (SCR Engineers Ltd., Netanya, Israel); en Nueva Zelanda, Dela Rue et al. (2014) informó un 72.3%, empleando Recounter (GEA Farm Technologies GmbH, Bönen, Germany); Brassel et al, (2018) en Irlanda reportan 72,2% empleando collares (HerdInsights; Alanya Ltd., Cork, Irlanda). Además, Talukder et al. (2015), informó 70% empleando (Hi Tag, SCR 115 Engineers Ltd., Netanya, Israel). A pesar de que, nuestros resultados fueron menores (63%) a los antes mencionados, demostramos que los collares electrónicos fueron más eficientes en la detección de estro que la observación visual, lo cual contrasta con los informes previos de Hockey et al., 2010). Sin embargo, Holman et al. (2011); Peralta, Pearson & Nebel (2005) indican que la combinación de los dispositivos electrónicos con observaciones visuales podría ser una mejor estrategia para aumentar la detección de estro y consecuentemente las tasas de concepción.

A pesar de que en un estudio de Kamphuis et al. (2012) compararon dos tipos de collares electrónicos con observación visual de estro en pastoreo e indican que la evaluación visual y ambos sistemas de actividad sobresalieron en la identificación de vacas que no estaban en estro (especificidad), mientras que ambos sistemas de actividad fueron menos efectivos que la observación visual para identificar el estro verdadero (sensibilidad) y diagnosticar correctamente el estro en vacas que realmente estaban en estro (valor predictivo positivo).

Encontramos un efecto del número de lactancias sobre la expresión del estro. Primíparas vacas con dos y tres lactancias fueron más propensas a expresar estro que aquellas con cuatro o más lactancias. Estos datos son consistentes con los estudios realizados por López-Gatius et al. (2005); Madureira et al. (2015); Sauls et al. (2017); quienes informan mayores valores de actividad física y expresión del comportamiento estral en primíparas, en comparación con multíparas. Sin

embargo, Løvendahl & Chagunda (2010) indican que no existe asociación entre la paridad y la actividad física en estro.

Utilizando el método de detección de estro a través del collar electrónico, se observó una mayor probabilidad de detectar estro que en aquellas vacas a las que se les detectó estro mediante observación visual. En este sentido, los resultados obtenidos superan lo informado por Stevenson et al. (2014), donde reportan que la tasa de detección de estro fue 1.8 veces mayor para vacas equipadas con collares electrónicos.

El nivel de producción no afectó la expresión de estro. Estos resultados están de acuerdo con los estudios realizados por Polsky et al. (2017), donde tampoco encontraron efecto de la producción de leche ($<41,50$ kg/d o $\geq 41,50$ kg/d) sobre la expresión del estro.

No se encontraron diferencias en la tasa de concepción entre métodos de detección de estro. Si bien no hubo diferencias en cuanto a la fertilidad según los servicios, los resultados de este estudio sugieren que el estro que se detectó visualmente fue verdadero, a pesar de que en este estudio no se midió la progesterona en sangre ni se realizó ecografía para confirmarlo, pero si se obtuvo la fertilidad de las vacas. Los resultados con respecto a la tasa de concepción obtenidas mediante la detección de estro con collares electrónicos (Silent Herdman) concuerdan con lo informado por LeRoy, et al. (2018), quienes evaluaron 4 granjas comerciales en Canadá empleando diferentes sistemas electrónicos para la detección de estro: dos granjas utilizaron podómetros (AfiAct, AfiMilk, Kibbutz Afikim, Israel, y obtuvieron TC entre 33% y 44%) y 2 granjas que utilizaron Heatime system SCR Engineers, Netanya, Israel) y obtuvieron de TC de 31 y 39% en condiciones de confinamiento. Al respecto Giordano et al. (2015), mediante Heatime system (SCR Dairy, Madison, WI), reportan TC de 32.1%. En otros estudios (Neves & LeBlanc, 2015) informan 39.4 % (36.3%–42.4%); Dolecheck et al. (2016), informó TC al primer servicio de 41.5% al emplear podómetros (AfiAct Pedometer Plus, Afimilk, Kibbutz Afikim, Israel). Por otro lado, Fricke et al. (2014), reportan menores tasas de concepción al primer servicio (31%). En Irlanda, los datos reportados por Palmer et al. (2010) en condiciones de pastoreo empleando HeatWatch patch (CowChips LLC, Denver, CO) informaron 39% de concepción al primer servicio. Resultados que son consistentes con lo informado en nuestro estudio (36%).

El número de lactancias fue el factor que afectó significativamente la tasa de concepción durante este estudio. Este resultado se pudiera atribuir a que, el estado de balance energético negativo suele ser más severo en multíparas (McArt et al. 2012). La gravedad del balance energético negativo influye en la concentración de metabolitos sanguíneos, incluidos los ácidos grasos plasmáticos (Ospina et al., 2013) y Betahidroxibutirato (McArt et al., 2013), afectando el desempeño reproductivo. En sistemas pastoriles se ha informado recientemente, que las primíparas [1.4 (1.04-1.87); $p=0.02$] tuvieron mayor concepción comparada con las vacas multíparas (Rojas Canadas et al., 2020). Esta observación podría explicarse por una menor producción (Santos et al., 2009) en primíparas en comparación con multíparas.

Los resultados obtenidos en este estudio con respecto a la fertilidad en función del número de lactancias concuerdan con los trabajos realizados empleando monitores automáticos de actividad, tal es el caso de Burnett et al. (2017), quienes informan que la concepción fue mayor en las primíparas [45,1% (73/162)] versus multíparas [22,4% (62/277)]. Polsky et al. (2017), reportan tasas de concepción de 27% (72/267) y 20% (108/538) a favor de las primíparas y multíparas

respectivamente. Además, Stevenson et al. (2014), relatan tasas de concepción mayor en primíparas que en vacas múltiparas [42.1% (n = 1,663) vs. 31.9% (n = 2,356), respectivamente]. Esto está en concordancia con nuestros resultados [42% (107/386); 39% (151/386) y 33% (128/386)] para primíparas, vacas entre dos a tres lactancias y con cuatro o más lactancias respectivamente.

La tasa de preñez en un hato lechero está determinada por la interacción entre la tasa de servicio de IA y la proporción de vacas inseminadas que se tornan gestantes (Fricke et al., 2014). En nuestro estudio la eficiencia reproductiva medida en función de la tasa de preñez fue superior al utilizar collares electrónicos que mediante la observación visual (21 vs 14%). Llama la atención que a pesar de que la tasa de concepción fue numéricamente superior en las vacas a las cuales se les detectó estro por observación visual, la tasa de preñez fue inferior. Cabe destacar que esa baja TP obedece a la baja tasa de detección de estro que se obtuvo (40%). Aunque Ferguson & Skidmore (2013), señalan que también puede atribuirse a las bajas en la concepción o una combinación de ambas. Por lo tanto, una óptima detección de estro tiene un gran impacto en la eficiencia reproductiva; no sólo para realizar las inseminaciones, sino para determinar el momento óptimo para realizar el servicio (Walsh et al., 2011) y así maximizar la concepción.

Con el uso de collares electrónicos se preñaron en promedio un 7% más de vacas cada 21 días. Esto tiene un impacto positivo sobre la eficiencia reproductiva, ya que representa mayores ingresos para el productor en cuanto a la producción de leche y la generación de los futuros reemplazos. La tasa de preñez obtenida por medio de la detección de estro por observación visual se ajusta con lo reportado por Capitaine et al. (2003) en Argentina (15%), bajo condiciones de pastoreo. Sin embargo, LeBlanc (2005) ha informado tasas de preñez inferiores (13%). Estos datos reflejan la realidad de los sistemas de producción de leche en el trópico donde raramente se alcanza más de un 15% de tasa de preñez mediante detección de estro por observación visual. Nuestros resultados son consistentes con lo reportado previamente por Leroy et al. (2018) en granjas comerciales empleado (Heatime system), reportando TP-21d entre 15 y 25%, a su vez Neves & LeBlanc, (2015), informan 18% en la TP-21d.

Así, nuestros resultados están en concordancia e incluso por encima de los reportados en otras latitudes en sistemas pastoriles donde se ha utilizado este sistema de detección de estro. Además, en estudios previos indicamos que, al emplear este tipo de tecnología de precisión en esta misma finca, se redujo el intervalo entre partos de 423 a 399 días en promedio ($p=0.01$) con un diferencial de 24 días, determinando que cada día de intervalo entre partos disminuido representó 14.56 dólares por vaca, generando 349.44 dólares/vaca/año (Quintero et al., 2019). El uso de estas tecnologías podría ser una estrategia para aumentar la tasa de inseminación después del período de espera voluntario e incluso una opción para granjas que quieran reducir su dependencia de fármacos y especialmente el estradiol, que está prohibido en varios países.

En conclusión, este estudio proporciona evidencia de que el uso de tecnología de precisión (monitores automáticos de actividad) son una herramienta para mejorar la eficiencia en la detección de estro y consecuentemente la eficiencia reproductiva en vacas Holstein lactantes en condiciones pastoriles.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación de Panamá, Senacyt, Proyecto [FIE16-P-035], con colaboración con la empresa Zaroza Ganadera S.A. y Servicios de Reproducción Animal SRA.

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Aungier, S. P. M., J. F. Roche, M. Sheehy, and M. A. Crowe. (2012). Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 2452–2466.
- Bates, Douglas, Martin Maechler, Ben Bolker, and Steven Walker. (2021). Lme4: Linear Mixed-Effects Models Using Eigen and S4. <https://github.com/lme4/lme4/>.
- Brassel, J., Rohrssen, F., Failing, K., & Wehrend, A. (2018). Automated estrus detection using multimetric behaviour recognition in seasonal-calving dairy cattle on pasture. *New Zealand Veterinary Journal*, 66(5), 243–247.
- Benaissa, S., Tuytens, F. A. M., Plets, D., Trogh, J., Martens, L., Vandaele, L., ... Sonck, B. (2020). Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168, 105153.
- Burnett, T. A., Madureira, A. M. L. Silper, B. F., Fernandes, A. C. C., and Cerri R. L. A. (2017). Integrating an automated activity monitor into an artificial insemination program and the associated risk factors affecting reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 5005–5018.
- Capitaine, F.A., Vater, A., Acosta, N. (2003). Análisis reproductivo de rodeos lecheros usuarios del Dairy Comp 305. *Taurus*, 17, 14-28.
- Chanvallon, A., Coyral-castel, S., Gatien, J., Lamy, J., Ribaud, D., Allain, C., Clément, P., Salvetti, P. (2014). Comparison of three devices for the automated detection of estrus in dairy cows. *Theriogenology* 82, 734–741.
- Crowe, M. A., Hostens, M., & Opsomer, G. (2018). Reproductive management in dairy cows - the future. *Irish Veterinary Journal*, 1–13.

- Dela Rue, B. T., Kamphuis, C., Burke, C. R., & Jago, J. G. (2014). Using activity-based monitoring systems to detect dairy cows in estrus: a field evaluation a field evaluation. *New Zealand Veterinary Journal*, *62*(2), 57-62.
- Dolecheck, K. A., Silvia, W. J. G. Heersche, C. L., Wood, K. J. Mc- Querry, and Bewley J. M. (2016). A comparison of timed artificial insemination and automated activity monitoring with hormone intervention in 3 commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science* *99*, 1506–1514.
- Edmonson, A. J., Lean I. J., Weaver L. D., Ferver T., and Webster G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *72*, 68-78.
- Ferguson, J.D., Skidmore, A. (2013). Reproductive performance in a select sample of dairy herds. *Journal of Dairy Science*, *96*, 1269-1289.
- Firk, R., E. Stamer, W. Junge, and J. Krieter. (2003). Automation of oestrus detection in dairy cows: A review. *Livestock Production Science*, *75*, 219–232.
- Fricke, P. M., Giordano, J. O., Valenza, A., Lopes, G., Amundson, M. C., & Carvalho, P. D. (2014). Reproductive performance of lactating dairy cows managed for first service using timed artificial insemination with or without detection of estrus using an activity-monitoring system. *Journal of Dairy Science*, *97*(5), 2771–2781.
- Dirección de Hidroemeteorología de ETESA. (2017). Disponible en: <https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-satelitales>.
- Hockey, C.D., Morton., J.M., Norman, S.T., McGowan, M.R. (2010). Evaluation of a Neck Mounted 2-Hourly Activity Meter System for Detecting Cows About to Ovulate in Two Paddock-Based Australian Dairy Herds. *Reproduction in Domestic Animals*, *45*, e107–e117.
- Holman, A., Thompson, J., Routly, J. E., Cameron, J., Grove-White, D., Smith, R. F., and Dobson, H. (2011). Comparison of estrus detection methods in dairy cattle. *Veterinary Record*, *169*, 47–53.
- Kamphuis, C., DelaRue, B., Burke, C.R., Jago, J. (2012). Field evaluation of 2 collar-mounted activity meters for detecting cows in estrus on a large pasture-grazed dairy farm. *Journal of Dairy Science*, *95*, 3045–3056.
- LeBlanc, S. (2005). Overall reproductive performance of Canadian dairy cows: Challenges we are facing. *Advances in Dairy Technology: Proc. of the Western Canadian Dairy Seminar*. 17. University of Alberta, Faculty of Extension, Edmonton.
- Leroy, C. N. S., Walton, J. S., & Leblanc, S. J. (2018). Estrous detection intensity and accuracy and optimal timing of insemination with automated activity monitors for dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *101*, 1638–1647.
- Liu, X., & Spahr, S. L. (1993). Automated Electronic Activity Measurement for Detection of Estrus in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, *76*(10), 2906–2912.

- López-Gatiús, F., Santolaria, P., Mundet, I., and Yániz, J. L. (2005). Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology* 63: 1419–1429.
- Lovendahl, P. and M. G. Chagunda. (2010). On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 249-259.
- Madoz, L. V., Rabaglino, M. B., Migliorisi, A. L., Jaureguiberry, M., Perez Wallace, S., Lorenti, N., ... de la Sota, R. L. (2020). Association between progesterone concentration and endometrial gene expression in dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, 74, 106481.
- Madureira, A. M. L., Silper, B. F., Burnett, T. A., Polsky, L., Cruppe, L. H., & Veira, D. M. (2015). Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 7003–7014.
- Mayo, L.M., Silvia, W.J., Ray, D.L., Stone, A.E., Tsai, I.C., Clark, J.D., Bewley, J.M., Heersche Jr, G. (2019). Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102, 2645-2656.
- McGowan, J. E., Burke, C. R. and Jago, J. G. (2007). Validation of a technology for objectively measuring behaviour in dairy cows and its application for estrus detection. New Zealand Society Animal Production. G. K. Barrell, ed. The Caxton Press, Christchurch, New Zealand. Pages 136–142.
- McArt, J. A., D. V. Nydam, G. R. Oetzel, T. R. Overton, and P. A. Ospina. (2013). Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *Veterinary Journal*, 198, 560–570.
- McArt, J.A.A., Nydam, D.V., Oetzel, G.R. (2012). Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 95, 5056-5066.
- Mee, J. F. (2004). Temporal trends in reproductive performance in Irish dairy herds and associated risk factors. *Irish Veterinary Journal*, 57, 158–166.
- Müller, R., Schrader, L. (2003). A new method to measure behavioural activity levels in dairy cows. *Applied Animal Behavior Science*, 83, 247–258.
- Nebel, R.L., Dransfield, M.G., Jobst, S.M., Bamee, J.H. (2000). Automated electronic systems for detection of oestrus and timing of AI in cattle. *Animal Reproduction Science*, 60-61, 713–723.
- Neves, R. C., LeBlanc, S. J. (2015). Reproductive management practices and performance of Canadian dairy herds using auto- mated activity-monitoring systems. *Journal of Dairy Science*, 98, 2801–2811.
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. National. Academic Science., Washington, DC.

- Ospina, P. A., J. A. McArt, T. R. Overton, T. Stokol, and D. V. Nydam. (2013). Using nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate concentrations during the transition period for herd-level monitoring of increased risk of disease and decreased reproductive and milking performance. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 29, 387–412.
- Palmer, M.A., Olmos, G., Boyle, L.A., Mee, J.F. (2010). Estrus detection and estrus characteristics in housed and pastured Holstein-Friesian cows. *Theriogenology*, 74, 255–264.
- Peralta, O.A., Pearson, R.E., Nebel, R.L. (2005). Comparison of three estrus detection systems during summer in a large commercial dairy herd. *Animal Reproduction Science*, 87, 59–72.
- Peter, A. T., and W. T. K. Bosu. (1986). Postpartum ovarium activity in dairy cows: Correlation between behavioral estrus, pedometer measurements and ovulations. *Theriogenology*, 26, 111–115.
- Polsky, L. B., Madureira, A. M. L., Filho, E. L. D., Soriano, S., Sica, A. F., Vasconestros, J. L. M., & Cerri, R. L. A. (2017). Association between ambient temperature and humidity, vaginal temperature, and automatic activity monitoring on induced estrus in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 100, 8590–8601.
- Pfeiffer, J., Gandorfer, M., & Ettema, J. F. (2020). Evaluation of activity meters for estrus detection: A stochastic bioeconomic modeling approach. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 492–506.
- Pinedo, P., Santos, J. E. P., Chebel, R. C., Galvão, K. N., Schuenemann, G. M., Bicalho, R. C., ... Thatcher, W. (2020). Associations of reproductive indices with fertility outcomes, milk yield, and survival in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6647–6660.
- Quintero, E.R., Grajales, J.K. Hernández, L.L Vargas R.E. (2019). Monitores automáticos de actividad y su impacto sobre la eficiencia reproductiva en vacas Holstein en lactancia bajo condiciones pastoriles. En: 13 Simposio Internacional de Reproducción Animal. M. Caccia. Ed. 1ª edición especial. Córdoba, Argentina, 348-348.
- 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/>.
- Roelofs, J. B., & Kooij, E. V. E. (2015). Estrus detection tools and their applicability in cattle: recent and perspectival situation, *Animal Reproduction*, 12, 498–504.
- Rojas Canadas, E., Herlihy, M. M., Kenneally, J., Grant, J., Kearney, F., Lonergan, P., & Butler, S. T. (2020). Associations between postpartum phenotypes, cow factors, genetic traits, and reproductive performance in seasonal-calving, pasture-based lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(1), 1016–1030.
- Sakaguchi, M., R. Fujiki, K. Yabuuchi, Y. Takahashi, and M. Aoki. (2007). Reliability of estrus detection in Holstein heifers using a radiotelemetric pedometer located on the neck or legs under different rearing conditions. *Journal of Reproduction and Development* 53, 819-828.

- Sakaguchi, M. (2011). Practical aspects of the fertility of dairy cattle. *Journal of Reproduction and Development*, 57, 17-33.
- Santos, J. E. P., H. M. Rutigliano, and M. Sá Filho. (2009). Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 110, 207–221.
- Sauls, J. A., Voelz, B. E., Hill, S. L., Mendonça, L. G. D., & Stevenson, J. S. (2017). Increasing estrus expression in the lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 100, 807–820.
- Silper, B. F., Madureira, A. M. L., Kaur, M., Burnett, T. A., and Cerri, R. L. A. (2015). Short communication: comparison of estrus characteristics in Holstein heifers by 2 activity monitoring systems. *Journal of Dairy Science*, 98, 3158-3165.
- Stevenson, J. S., Hill, S. L., Nevel, R. L., DeJarnette, J. M. (2014). Ovulation timing and conception risk after automated activity monitoring in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97, 4296–4308.
- Stone, A. E., B. W. Jones, C. A. Becker, and J. M. Bewley. (2017). Influence of breed, milk yield, and temperature-humidity index on dairy cow lying time, neck activity, reticulorumen temperature, and rumination behavior. *Journal of Dairy Science*, 100, 2395–2403.
- Strappini, A., Ulloa C., Ratto, M. (2015b). Relevance of secondary estrous signs in dairy cattle under pasture conditions. Resúmenes del II Simposio Latinoamericano de Reproducción Animal, Santiago, Chile.
- Talukder, S., Thomson, P.C., Kerrisk, K.L., Clark, C.E., Celi, P. (2015). Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and calving time in cattle. *Theriogenology*, 83, 739-748.
- Trimberger, G.W. (1948). Breeding efficiency in dairy cattle from artificial insemination at various intervals before and after ovulation. (Research Bulletin: Bulletin of the Agricultural Experiment Station of Nebraska 153, 3-25.
- Valenza, A., Giordano, J.O., Lopes, G., Vincenti, L., Amundson, M.C., Fricke, P.M. (2012). Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone at the time of insemination in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95, 7115-27.
- Van Eerdenburg, F. J., Loeffler, S. H., Van Vliet, J. H. (1996). Detection of estrus in dairy cows: A new approach to an old problem. *Veterinary Quartely*, 18, 52–54.
- Walsh, S. W., Williams, E. J. A., Evans, C. O. (2011). A review of the causes of poor fertility in high producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 123, 127–138.
- Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J. M., Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture*, 64, 2–10.

Xu, Z. Z., McKnight, D. J., Vishwanath, R., Pitt, C. J., and L. J. Burton. (1998). Estrus detection using radio telemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 81, 2890–2896.

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES DE MODELACIÓN NO LINEAL PARA EL AJUSTE DE CURVAS DE LACTANCIA EN CABRAS LECHERAS (*CAPRA HIRCUS*)

EVALUATION OF NON-LINEAR MODELLING PROPERTIES TO THE FITTING OF LACTATION CURVES IN DAIRY GOATS (*CAPRA HIRCUS*)

*Roberto Saavedra**. Consultor Independiente. Panamá. rrsaavedra@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-4531-6434>

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

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

Enrique Sánchez-Galán. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá. enrique.sanchezg@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0002-9452-8177>

Marilys Quintero. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá. marilys.quinteroq@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0001-8660-9113>

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

Gabriel Remy. Consultor Independiente. Panamá. gabrielremyserrano@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-0906-5973>

*Correo de Correspondencia: rrsaavedra@hotmail.com

Recibido: 11/08/2022

Aceptado: 11/05/2023

RESUMEN. El objetivo del siguiente estudio fue evaluar el ajuste de cinco modelos no lineales para la estimación de parámetros productivos concernientes a la posición y forma de las curvas de lactancia en función de la raza y el número de partos en cabras. Se utilizó una base de datos de dos años consecutivos (2021-2022), con 1002 mediciones de pesajes de leche procedentes de 30 cabras, quince Saanen y quince Parda Alpina, las cuales se subdividen en cinco cabras en primera, segunda y tercera o más lactancia, respectivamente. Las curvas de lactancia fueron ajustadas óptimamente con $R^2 > 0,89$, destacando los modelos de Brody, Wood, Wilmink y Nelder con buenos ajustes en general. La raza y el número de partos influyó significativamente ($p < 0,05$) en las diferencias en parámetros productivos, mostrando que las cabras de la raza Saanen con 3 o más lactancias mostraron mayores valores de producción máxima diaria de leche ($3,10 \pm 0,13$ kg), producción acumulada de leche a los 220 días ($513,72 \pm 27,36$ kg) y producción promedio ($2,34 \pm 0,12$ kg/día), mientras que las cabras de la raza Parda Alpina tienen un menor tiempo de producción máxima diaria de leche, sin diferir entre partos ($p < 0,05$) en rangos entre 17 a 25 días. En conclusión, ajustar los modelos en función del número de partos y raza permiten obtener criterios de decisión en programas de selección y de manejo y en un sistema productivo de manera eficiente y sostenible.

PALABRAS CLAVE: curva de lactación, Saanen, Parda Alpina, primera derivada, asíntota.

ABSTRACT. The objective of this study was to evaluate the fitness of five nonlinear models to estimation of productive parameters related to shape and scale of lactation curves influenced by breed and parities in goats. A dataset of 1002 lactation records measured in two consecutive years (2021-2022) from 30 goats were used, which fifteen goats are Saanen and other fifteen goats are Brown Alpine, and in each breed studied, five goats are in first lactation, five goats are in second lactation and other five are in third or more lactations. Lactation curves fitted well with $R^2 > 0,89$, showing that Brody, Wood, Nelder and Wilmink had a good fit. Breed and parity influenced significantly ($p < 0,05$) in differences between productive parameters estimated, showing that Saanen goats with third or more lactations showed greater values of milk maximal yield (y_{max}) with $3,10 \pm 0,13$ kg, cumulative milk yield at 220 days (PL220) with $513,72 \pm 27,36$ kg and average daily yield (y_{prom}) with $2,34 \pm 0,12$ kg/day, than showed by Brown Alpine goats, while Brown Alpine goats had a lower milk maximal yield time than Saanen ones, in a range of 17 – 25 days without significantly differences ($p < 0,05$). In conclusion, adjusting the models based on the number of births and breed allow to obtain decision criteria in selection programs and management of the productive system in an efficient and sustainable way.

KEYWORDS: lactation curve, Saanen, Brown Alpine, first derivative, asymptote.

INTRODUCCIÓN

La producción lechera de caprinos es una fuente importante de alimento para consumo humano, dados sus niveles y energía disponible (Chacón, 2005; Bidot, 2017). Un proceso relacionado a la producción láctea en caprinos es el proceso fisiológico comprendido desde el momento del parto hasta el momento de destete, conocido como lactancia.

Una representación cuantitativa concerniente a este evento biológico es conocido como curva de lactancia, que describe la producción diaria de leche desde el momento del parto, la cual crece de forma ascendente hasta llegar a un punto de producción máxima, con un tiempo definido en un intervalo abierto de $(0, t_{max})$ días, donde luego la producción de leche empieza a descender de forma constante hasta el momento de secado. Por lo general, la curva de lactancia tiene una asimetría notable en el punto de producción máxima de leche, donde la etapa descendente toma la mayor parte del tiempo de la lactancia. Algunos parámetros de interés estimados con la curva de lactancia son relativos a puntos específicos dentro de esta curva, por ejemplo, el tiempo máximo del máximo de producción y la producción máxima de leche. También, concernientes a la forma de la curva, como lo son la producción de leche en un intervalo de tiempo y la persistencia.

Varios modelos cuantitativos han sido propuestos para modelar este evento biológico (González-Peña *et al.*, 2012), dentro de los cuales están los modelos lineales polinómicos, los cuales tienen como limitante que a medida que aumentan los valores de la variable predictora (tiempo), la tendencia de la variable de respuesta es influenciada por el coeficiente de la variable del grado superior de la función polinomial ajustada, lo cual muchas veces no es correspondiente al evento biológico estudiado por Nelder (1966), además que también hay riesgo de encontrar multicolinealidad dentro del modelo a medida que aumente el grado del polinomio ajustado, incidiendo que pudiese haber variables aleatorias correspondiente a uno de los coeficientes dentro de este modelo sea linealmente dependiente de otras variables aleatorias del mismo modelo, influyendo en malas estimaciones de los parámetros ajustados.

Por otra parte, hay muchas funciones de carácter no lineal utilizadas con este propósito. Una de ellas son los modelos gamma incompleto, propuesto por Wood (1967), versión de la forma general de la función general exponencial $(at^b e^{-(c+dt)t})$ cuando $d = 0$.

Otro modelo basado en el modelo gamma incompleto es el propuesto por Papacsik y Bodero (1988), una versión del modelo propuesto por Wood (1967) descrito cuando $b = 1$ y un modelo resultante de la diferencia de dos funciones exponenciales es el descrito por Brody *et al.* (1924). Otro modelo asociado al modelo exponencial, que combina términos de un modelo de regresión lineal con un término exponencial es la función propuesta por Wilmink (1987) y un modelo basado en el inverso de un polinomio de grado 2 es el propuesto por Nelder (1966), para de esa forma reproducir la asimetría común presentes en las curvas de lactancia.

El objetivo de este estudio fue evaluar el ajuste de distintos modelos no lineales a curvas de lactancias de acorde a factores de raza y número de partos, para así obtener parámetros de interés productivo, tomando en cuenta ciertas propiedades matemáticas de estos modelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del Estudio

Los datos evaluados fueron generados en una finca ubicada en la comunidad de Gonzalillo, corregimiento de Ernesto Córdoba Campos, distrito de Panamá, provincia de Panamá, localizada en las siguientes coordenadas: latitud de 9° 6' N y longitud de 79° 31' O.

Animales del Experimento

Para el análisis de las curvas de lactancias se utilizó una base de datos de dos años consecutivos (2021-2022), con aproximadamente 1 002 mediciones de pesajes de leche procedentes de 30 cabras adultas en total, entre dos a seis años de edad, 15 de la raza Saanen y 15 de la raza Parda Alpina. Los animales de ambas razas fueron divididos de acuerdo con la paridad, siendo conformados por cinco animales para cada categoría (primera, segunda y tres o más lactancias).

Todas las cabras fueron alimentadas con la misma dieta durante el periodo de lactancia de aproximadamente 220 días en un sistema estabulado, donde la alimentación fue basada en pasto de corte (*Cenchrus purpureum* cv. 22), y dos arbustos forrajeros (*Morus alba*) y (*Tithonia diversifolia*), heno de pasto Swazi (*Digitaria swazilandensis*), suplementación de concentrado y sales minerales, según sus requerimientos nutricionales. El periodo de ordeño inició a partir del octavo día postparto mediante ordeño manual; posteriormente se realizaron los pesajes de leche con el uso de una balanza digital Etekcitec (modelo EK6015) con capacidad de 5,0 kg.

Curvas de Lactancia

Para el ajuste de las curvas de lactancia se ajustan cinco diferentes modelos no lineales, definiendo el siguiente modelo estadístico: $y = f(t, \beta) + e$, donde y es la variable de respuesta (producción diaria de leche en kg/día), $f(t, \beta)$ se denomina la función media del modelo con variable aleatoria t correspondiente al tiempo definido en días y e es el error aleatorio, y donde y está distribuido de forma independiente e independiente (*iid*) normal con media $f(t, \beta)$ y varianza σ^2 ($y \sim N(f(t, \beta), \sigma^2)$), mientras que e están idénticamente e independientemente distribuido de manera normal de la forma $e \sim N(0, \sigma^2)$.

Los modelos no lineales evaluados son los modelos de Wood (1967), Brody *et al.* (1924), Wilmlink (1987), Papacsik y Bodero (1988) y Nelder (1966), donde ajusta cada modelo para cada subgrupo correspondiente de acuerdo con la raza, número de lactancias y cuyas formas algebraicas están enunciadas en la Tabla 1.

La estimación de los parámetros ($\hat{\beta}$) 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 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).

Tabla 1. Modelos de regresión no lineal utilizados para ajustar las curvas de lactación en cabras lecheras.

Modelo	Función
WD (Wood, 1967)	$y = \beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t) + e$
BR (Brody, 1924)	$y = \beta_0 [\exp(-\beta_1 t) - \exp(-\beta_2 t)] + e$
WT (Wilmlink, 1987)	$y = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 \exp(-0.05t) + e$
PB (Papajcsik y Boderó, 1988)	$y = \beta_0 t \exp(-\beta_2 t) + e$
ND (Nelder, 1966)	$y = \left[t / (\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2) \right] + e$

Parámetros de Curvas de Lactancia

Se seleccionó el modelo con mejor ajuste a cada subgrupo evaluado y se estimaron los parámetros del modelo ($\hat{\beta} = [\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2]$) para cada cabra. Como parámetros de interés productivos en función del ajuste del modelo, se estimaron los parámetros concernientes a la producción máxima diaria de leche (y_{max}), al tiempo máximo de producción diaria de leche (t_{max}), producción de leche acumulada en 220 días (PL_{220}), producción promedio a los 220 días (y_{prom}) y la persistencia mediante el desvío estándar de la producción promedio entre los 70 y 220 días (Sölkner y Fuchs, 1987), en base a β estimadas con cada lactación y de acorde a las ecuaciones presentadas más adelante en esta sección.

Ahora bien, como manera de evaluar la propiedad de cada modelo de representar la tendencia de la producción de leche diaria con respecto al aumento de tiempo, donde se esperaría que tendiera a la nulidad con el pasar de los días, en especial cuando transcurren más allá de 220 días. Esto es posible mediante la evaluación de la presencia de asíntotas horizontal, definidas matemáticamente como $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = b$, donde en este caso es asumible que $b = 0$. Para ello, es de utilidad un teorema (Leithold 1994) con respecto a los límites al infinito (donde la variable predictor t tiende al infinito), expresado como:

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{1}{t^r} = 0 \quad \text{si } r \in \mathbb{R}^+ \text{ (} r \text{ número positivo)} \text{ y } \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{1}{t^r} = +\infty \quad \text{si } r \in \mathbb{R}^- \text{ (} r \text{ num. negativo)} \quad [1,1]$$

Evaluando la presencia de asíntotas horizontales en el modelo de Brody *et al.* (1924) aplicando el límite con t tendiendo al infinito de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \beta_0 (\exp(-\beta_1 t) - \exp(-\beta_2 t)) = \lim_{t \rightarrow \infty} \beta_0 \left(\lim_{t \rightarrow \infty} \exp(-\beta_1 t) - \lim_{t \rightarrow \infty} \exp(-\beta_2 t) \right) \quad [2,1]$$

Considerando [1,1] donde al ser $t > 0$, entonces β_1 y β_2 deben ser mayores a cero ($\beta_1, \beta_2 > 0$) para que $\beta_1 t$ y $\beta_2 t$ sean mayores a cero y por tanto se cumpla la propiedad asintótica descrita en [1,1] y $\lim_{t \rightarrow \infty} \beta_0 (\exp(-\beta_1 t) - \exp(-\beta_2 t)) = 0$

Para el modelo de Wood (1967), se evalúa la presencia de asíntotas horizontales de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t) = \beta_0 \lim_{t \rightarrow \infty} t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 \lim t)$$

Se tiene que para el caso de $\lim_{t \rightarrow \infty} t^{\beta_1}$, el límite de la expresión cuando $\beta_1 < 0$, entonces $\lim_{t \rightarrow \infty} t^{\beta_1} = 0$, de acorde al teorema propuesto en [1,1], mientras que por otro lado, si $\beta_1 > 0$, entonces $\lim_{t \rightarrow \infty} t^{\beta_1} = \infty$, según [1,1]. En el caso del término $\exp(-\beta_2 \lim t)$, si $\beta_2 > 0$ se tiene que $\lim_{t \rightarrow \infty} \exp(-\beta_2 t) = 0$, dado que garantiza que el límite sea un valor igual a $1/\exp(\beta_2 t)$ y conociendo por [1,1], si $r \geq 0$, por lo que resultaría en $\lim_{t \rightarrow \infty} y = 0$. Asumiendo que $\beta_1, \beta_2 > 0$, según lo expuesto anteriormente se tiene que:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \beta_0 \lim_{t \rightarrow \infty} t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 \lim t) = \beta_0 (0)(0) = 0 \quad [2,2]$$

Lo que demostraría que, a medida que aumentan los días de manera creciente, la curva de lactancia ajustada arrojará valores cercanos al cero, por lo que decimos que este modelo tiene una asíntota horizontal en $y = 0$ kg.

Para el modelo de polinomios inversos de Nelder (1966), se evalúa la presencia de asíntota horizontal de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \frac{\lim_{t \rightarrow \infty} 1}{\lim_{t \rightarrow \infty} t \left(\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\beta_0}{t^2} + \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\beta_1}{t} + \lim_{t \rightarrow \infty} \beta_2 \right)} = \frac{1}{\infty(0+0+\beta_2)} = \frac{1}{\beta_2(\infty)} = \frac{1}{\infty} = 0 \quad [2,3]$$

Por tanto, se demuestra una asíntota horizontal para cuando la producción de leche es $y = 0$ kg, a medida que la función media evaluada va adquiriendo valores de la variable aleatoria, en este caso días, de manera creciente, este va acercándose al valor de PL que esta función tiene como límite, y en este caso, es la asíntota horizontal definida anteriormente.

Para el modelo de Wilmlink (1987), se evalúa la presencia de asíntotas horizontales de la siguiente manera:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \beta_0 + \beta_1 \lim_{t \rightarrow \infty} t + \beta_2 \exp(-0.05 \lim t)$$

Es visible que $\lim_{t \rightarrow \infty} \beta_0 = \beta_0$ y que $\exp(-0.05 \lim_{t \rightarrow \infty} t) = 0$, mientras que para $\beta_1 \lim_{t \rightarrow \infty} t$ deben evaluarse las siguientes situaciones: Si $\beta_1 \approx 0$, se tiene que $\beta_1 \lim_{t \rightarrow \infty} t \rightarrow 0$ y $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) \rightarrow \beta_0$, mientras que si $\beta_1 < 0$, entonces $\beta_1 \lim_{t \rightarrow \infty} t = -\infty$ y en algún punto en t cortará al eje independiente, de modo que $y = 0$ y por tanto $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = -\infty$. De otro modo, si $\beta_1 > 0$, entonces $\beta_1 \lim_{t \rightarrow \infty} t = \infty$ y por tanto $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \infty$, lo cual indicaría que a medida que aumenten los valores en el tiempo t , aumentarán los valores en $f(t)$, de alguna forma evitando que $f(t) = 0$ en algún punto del tiempo de la curva, lo que es esperable dentro del proceso biológico con respecto a la lactación.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \beta_0 + \beta_1 \lim_{t \rightarrow \infty} t \quad [2,4]$$

Tiempo de Producción Máxima Diaria de Leche

Para conocer el tiempo de la producción máxima diaria de leche (t_{max}), se utilizó el criterio de la primera derivada de cada función ajustada, donde existe uno o varios valores t para donde la primera derivada de $f'(t)$ (primera derivada de la función f , definida como la tasa de cambio de la variable de respuesta a medida que cambia la variable predictora) tienen valor iguales a cero ($f'(t) = 0$), y donde los valores a la izquierda de $f'(t_{max})$ son mayores a cero ($f'(t_{max}) > 0$) y para los valores a la derecha de $f'(t_{max})$ son menores a cero ($f'(t_{max}) < 0$) se dice que existe un t_{max} donde existe un máximo relativo dentro del intervalo de tiempo evaluado que en este caso es la producción máxima diaria de leche (y_{max}).

Para el caso del modelo de Brody *et al.*, (1924), se determina el t_{max} de la siguiente manera:

$$f'(t) = \beta_0 (\beta_2 \exp(-\beta_2 t) - \beta_1 \exp(-\beta_1 t)) \quad [3,1]$$

Para obtener el t_{max} , se tomó como referencia en el criterio de la primera derivada, donde [3,1]

resulte en $f'(t) = 0$, donde $0 = \beta_0 (\beta_2 \exp(-\beta_2 t) - \beta_1 \exp(-\beta_1 t))$:

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{\exp(-\beta_1 t)}{\exp(-\beta_2 t)} = \exp(\beta_2 t - \beta_1 t)$$

Aplicando logaritmos neperianos en ambos lados de la igualdad, se tiene la siguiente expresión con el tiempo máximo de producción:

$$t_{max} = \frac{\ln(\beta_2 / \beta_1)}{\beta_2 - \beta_1} \quad [3,2]$$

Para el modelo de Wood (1967), se determinó t_{max} de la siguiente manera:

$$f'(t) = \beta_0 \left(D_t(t^{\beta_1}) \exp(-\beta_2 t) + t^{\beta_1} D_t(\exp(-\beta_2 t)) \right) = \beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t) (t^{-1} - \beta_2) \quad [3,3]$$

Para obtener el tiempo máximo de la producción de leche y el pico de producción, se utilizó en el criterio de la primera derivada, donde para un valor t la función dada en [3,3] resulte en $f'(t) = 0$, resultando en $\beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t) (\beta_1 t^{-1} - \beta_2) = 0$

En esta función sólo es posible tener valores iguales al cero sólo si $t = 0$ y cuando $\beta_1 t^{-1} - \beta_2 = 0$, por lo que es evidente que para $t = \beta_1 / \beta_2$, la función dada en [3,3] toma un valor igual a cero, lo que indica que y tendrá como valor máximo cuando

$$t_{max} = \beta_1 / \beta_2 \quad [3,4]$$

Para la función de Wilmlink, se obtuvo t_{max} de la siguiente manera:

$$f'(t) = \beta_1 - (\beta_2 / 20) \exp(-0.05 t) \quad [3,5]$$

Para definir un valor crítico, se debe encontrar valores donde $f'(t) = 0$, por lo que tomando la expresión anterior, se tiene que $\beta_1 - (\beta_2 / 20) \exp(-0.05 t) = 0$

$$\beta_1 = \frac{\beta_2}{20} \exp(-0.05 t) \Rightarrow \frac{20\beta_1}{\beta_2} = \exp(-0.05 t)$$

Y aplicando la función logaritmo natural en ambos términos, se tiene que:

$$\ln(20\beta_1 / \beta_2) = \ln(\exp(-0.05 t)) \Rightarrow \ln(20\beta_1 / \beta_2) = -0.05 t$$

$$t_{max} = -20 \ln(20\beta_1 / \beta_2) \quad [3,6]$$

Para el modelo de polinomios inversos descrito por Nelder (1966), se determina t_{max} de la manera $f'(t) = \left[D_t(t) (\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2) - t (D_t(\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2)) \right] / (\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2)^2$:

$$f'(t) = \frac{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 - \beta_1 t - 2\beta_2 t^2}{(\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2)^2} = \frac{\beta_0 - \beta_2 t^2}{(\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2)^2} \quad [3,7]$$

Para obtener el tiempo máximo de la producción de leche y el pico de producción, se toma como referencia el criterio de la primera derivada, donde para un valor t la función dada en [3,7] resulte en $f'(t) = 0$

$$f'(t) \equiv 0 = \frac{\beta_0 - \beta_2 t^2}{(\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t)^2} \Rightarrow t_{max} = \pm \sqrt{\beta_0 / \beta_2}$$

Como la variable predictora correspondiente al tiempo es una variable positiva mayor de cero, cuyos valores caen dentro de los números reales positivos (\mathbb{R}^+), en donde el tiempo máximo de producción de leche se define como:

$$t_{max} = \sqrt{\beta_0 / \beta_2} \quad [3,8]$$

Para cada lactación ajustada de acorde a su raza y números de lactaciones en cada animal, se estimó t_{max} utilizando las ecuaciones dadas en [3,2], [3,4], [3,6] y [3,8] con los parámetros resultados del ajuste de los modelos de cada animal, donde para cada animal se seleccionó el modelo con mejor ajuste en cada subgrupo evaluado anteriormente.

Producción Máxima Diaria de Leche

Para estimar el valor de la producción máxima diaria de leche (y_{max}) de una curva de lactancia ajustada, se determinó mediante el reemplazo del valor de tiempo de producción máxima diaria de leche en función del modelo ajustado. Para el modelo de Brody *et al.*, (1924), se define y_{max} al reemplazar el valor de t_{max} presente en [3,2] en la función descrita en la Tabla 1 para este modelo. Por tanto, se tiene que:

$$y_{max} = \beta_0 \exp\left(-\beta_1 \left(\frac{\ln(\beta_2 / \beta_1)}{\beta_2 - \beta_1}\right)\right) - \beta_0 \exp\left(-\beta_2 \left(\frac{\ln(\beta_2 / \beta_1)}{\beta_2 - \beta_1}\right)\right) \quad [4,1]$$

Para el modelo de Wood (1967), se obtiene y_{max} al reemplazar t_{max} dado en [3,4] en la función media de este modelo descrito en la Tabla 1, por lo que se tiene:

$$y_{max} = \beta_0 (\beta_1 / \beta_2)^{\beta_1} \exp(-\beta_1) \quad [4,2]$$

Para el modelo de Wilmink, se obtiene y_{max} al reemplazar t_{max} dado en [3,6] en la función media de este modelo descrito en la Tabla 1, por lo que se tiene:

$$y_{max} = \beta_0 + \beta_1 (-20 \ln(20\beta_1 / \beta_2)) + \beta_2 \exp(-0.05(-20 \ln(20\beta_1 / \beta_2)))$$

$$y_{max} = \beta_0 + 20\beta_1 (1 - \ln(20\beta_1 / \beta_2)) \quad [4,3]$$

Para el modelo de Nelder (1966), se obtiene y_{max} al reemplazar t_{max} dado en [3,8] en la función media de este modelo descrito en la Tabla 1, descrita como:

$$y_{max} = \frac{\sqrt{\beta_0/\beta_2}}{\beta_0 + \beta_1(\sqrt{\beta_0/\beta_2}) + \beta_2(\sqrt{\beta_0/\beta_2})^2} = \frac{(\sqrt{\beta_0/\beta_2})}{(\sqrt{\beta_0/\beta_2})(2\beta_0\sqrt{\beta_2/\beta_0} + \beta_1)} = \frac{1}{2\sqrt{\beta_0\beta_2} + \beta_1} \quad [4,4]$$

Para cada lactación, se estima y_{max} en función a $\hat{\beta}$ estimados en cada lactación, donde el modelo utilizado en cada lactancia fue el de mejor ajuste en cada subgrupo. Luego, se reemplaza $\hat{\beta}$ en [4,1], [4,2], [4,3] y [4,4] según sea el caso al subgrupo de cada raza y número de lactaciones en el que se encuentre el animal.

Producción de Leche Acumulada en 220 días

La producción acumulada de leche en el intervalo de tiempo (0, 220) definido en días (PL_{220}), se obtuvo a través de la integración definida de las funciones descritas en la Tabla 1, donde se define matemáticamente como:

$$PL_{220} = \int_{t_0}^{t_f} f(t) dt$$

Para el modelo de Brody *et al.*, (1924), se obtiene PL_{220} de la siguiente manera:

$$PL = \beta_0 \left[\int_{t_0}^{t_f} \exp(-\beta_1 t) dt - \int_{t_0}^{t_f} \exp(-\beta_2 t) dt \right]$$

Aplicando el método de sustitución, se define $u = -\beta_1 t$ y $v = -\beta_2 t$, y derivando estos términos se tiene las siguientes expresiones: $du = -\beta_1 dt$ y $dv = -\beta_2 dt$, y reemplazando estos términos en la expresión anterior, se tiene que:

$$PL = \beta_0 \left[\frac{1}{\beta_2} \int_{t_0}^{t_f} \exp(v)(dv) - \frac{1}{\beta_1} \int_{t_0}^{t_f} \exp(u) du \right] = \beta_0 \left[\frac{1}{\beta_2} \exp(-\beta_2 t)_{t_0}^{t_f} - \frac{1}{\beta_1} \exp(-\beta_1 t)_{t_0}^{t_f} \right] + C$$

$$\text{Para } C=0: \quad PL = \beta_0 \left[\frac{1}{\beta_2} (\exp(-\beta_2 t_f) - \exp(-\beta_2 t_0)) - \frac{1}{\beta_1} (\exp(-\beta_1 t_f) - \exp(-\beta_1 t_0)) \right] \quad [5,1]$$

Para el modelo de Wood (1967), se determina PL_{220} de la siguiente manera:

$$PL = \int_{t_0}^{t_f} \beta_0 t^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t) dt$$

Por método de sustitución, se reparametriza $u = \beta_2 t$ dentro de la función y derivando este término se tiene que $du = \beta_2 dt$, y se redefine la expresión:

$$PL = \beta_0 \int_{t_0}^{t_f} \left(\frac{u}{\beta_2} \right)^{\beta_1} \exp(-u) \left(\frac{du}{\beta_2} \right) = \frac{\beta_0}{(\beta_2)^{\beta_1+1}} \int_{t_0}^{t_f} (u)^{\beta_1} \exp(-u) du$$

Wood (1967) define la producción acumulada de manera asintótica, en el periodo comprendido entre $(0, \infty)$, por tanto, esta expresión puede ser redefinida como:

$$PL = \beta_0 \int_{t_0}^{t_f} (u / \beta_2)^{\beta_1} \exp(-u) (du / \beta_2) = \left[\beta_0 / (\beta_2)^{\beta_1+1} \right] \int_0^{\infty} (-\beta_2 t)^{\beta_1} \exp(-\beta_2 t) du \quad [5,2]$$

Esta integral impropia (aquellas cuyo al menos uno de sus extremos es un valor indefinido) se puede definir utilizando la función gamma, definida como $\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} t^{\beta-1} \exp(-t) dt \equiv (\beta-1)!$,

donde $(\beta-1)!$ es el producto factorial de $\beta-1$, y reemplazando este término en la expresión anterior, se tiene que $PL_{220} = (\beta_0 / (\beta_2)^{\beta_1+1}) \int_0^{\infty} (u)^{\beta_1} \exp(-u) = (\beta_0 / (\beta_2)^{\beta_1+1}) \Gamma(\beta_1+1)$

Para el modelo de Wilmink (1987), se obtiene PL_{220} de la siguiente manera:

$$PL = \int_{t_0}^{t_f} (\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 \exp(-0.05 t)) dt = \beta_0 t \Big|_{t_0}^{t_f} + \frac{\beta_1}{2} t^2 \Big|_{t_0}^{t_f} - 20 \beta_2 \exp(-0.05 t) \Big|_{t_0}^{t_f} + C$$

Donde $C = 0$, se tiene que:

$$PL = \beta_0 (t_f - t_0) + \frac{\beta_1}{2} (t_f^2 - t_0^2) - 20 \beta_2 (\exp(-0.05 t_f) - \exp(-0.05 t_0)) \quad [5,3]$$

Para el modelo de Nelder (1966), al ser un polinomio inverso de grado 2 con parámetros desconocidos y muy probable de ser números irracionales, es poco viable definir una función correspondiente a su integral definida, por lo que se define PL_{220} de la siguiente manera:

$$PL = \int_{t_0}^{t_f} \frac{t}{\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2} dt \quad [5,4]$$

Los valores presentes en [5,1] y [5,3] se calculan por el reemplazo directo de los parámetros estimados de cada modelo por el método de Gauss – Newton, mientras que los valores de [5,2] y [5,4] se determina mediante aproximación numérica definida por la regla de Simpson

(Press *et al.* 1992), definida como $\int_{t_0}^{t_f} f(t) dt \approx ((t_f - t_0) / 6) \left[f(t_0) + 4f((t_f + t_0) / 2) + f(t_f) \right]$

Donde $f(t)$ son las funciones medias de los modelos de Wood (1967) y de Nelder (1966) descritos en la Tabla 1. Luego de esto, se calcula PL_{220} para cada animal con los parámetros $\hat{\beta}$ estimados en cada lactación producto del modelo utilizado de mejor ajuste para cada subgrupo evaluado de acorde a su raza y número de lactancia.

Producción Promedio y Persistencia

Para la Producción Promedio por animal, se calcula para cada animal de la siguiente manera:

$$y_{prom} = \frac{\int_{t_0}^{t_f} f(t) dt}{t_f - t_0} = \frac{\int_0^{220} f(t) dt}{220}$$

Donde $f(t)$ es la función media de mejor ajuste en cada subgrupo de raza y número de lactancias en cada animal. Mientras que la persistencia se relaciona con la forma matemática de la curva de lactancia ajustada, sin embargo, hay cierta ambigüedad para definir la persistencia, por lo cual se han dado varias definiciones de la misma (Gengler, 1996), una de las cuales es relacionada a la caída de la producción con respecto a la producción máxima de la curva de lactación, mientras otras definiciones corresponden a la habilidad de la vaca de mantener un ritmo de producción en toda su lactancia, asociada a la uniformidad de la curva de lactancia en todas sus fases (Grossman *et al.*, 1999).

Expresiones para la determinación de persistencia en función del grado de uniformidad de la producción de leche es mediante los cocientes de valores asociados a la producción en diferentes intervalos de tiempo, así como cocientes de valores promedios de producción en un intervalo de tiempo con respecto a y_{max} , y finalmente, mediante la estimación del desvío estándar (SD) de las producciones diarias de leche dentro de $t_0 < t < t_f$ con respecto del promedio de esas producciones diarias observadas, siendo una medida del grado de la pendiente de la curva ajustada según una expresión dada por Sölkner y Fuchs (1987), dada mediante la forma:

$$Pers \equiv SD = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right) / n} \quad [6]$$

Donde en este estudio, se estima la persistencia para el intervalo de tiempo, $70 < t < 220$ días, para conocer el grado de persistencia en la fase descendente de la curva. Cabe destacar, que a medida que los valores de la expresión [6] disminuyan, se considera que la persistencia en una curva de lactación aumenta. Por otro lado, para expresar el grado de decaimiento en la curva de lactancia durante la fase descendente, se conoce que la primera derivada de una función es correspondiente a la tasa de cambio de la variable de respuesta con respecto al cambio producido en la variable predictor, expresada como:

$$\bar{y}' \equiv \frac{dy}{dt} \approx \frac{\int_a^b f'(t) dt}{b-a} = \frac{f(t) \Big|_b^a}{b-a} = \frac{f(b) - f(a)}{b-a} \quad [7]$$

Donde el numerador es correspondiente a la suma de los valores debajo de la curva de lactancia en el intervalo $a < t < b$, y la función $f'(t)$ correspondiente a cada modelo evaluado están dadas por las expresiones dadas en [3,1], [3,3], [3,5] y [3,7].

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para las variables de respuestas y_{max} , t_{max} , PL_{220} , y_{prom} y persistencia, se midieron las diferencias entre medias mediante un modelo lineal factorial 2x3 de efectos fijos (dos razas y tres categorías de cabras según lactancias) de la forma:

$$z_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde z_{ijk} representa a las variables de respuestas enunciadas anteriormente en la i -ésima raza, la j -ésima lactancia y la k -ésima repetición, μ es la media general, α_i es el efecto de la i -ésima raza, γ_j es el efecto de la j -ésima lactancia, $(\alpha\gamma)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre la i -ésima raza, y la j -ésima lactancia y e_{ijk} es el efecto aleatorio de la i -ésima raza, la j -ésima lactancia y la k -ésima repetición.

Para verificar el supuesto de normalidad se utilizó la prueba de Shapiro – Wilk, mientras para la verificación de la homocedasticidad se empleó la prueba de Levene. Diferencias significativas entre medias se evaluaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Todos los análisis estadísticos y estimaciones escritas anteriormente, así como los resultados detallados en tablas y gráficos se realizaron en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curvas de Lactancia por Subgrupos

Luego de ajustar los modelos no lineales descritos en la Tabla 1, se encuentra que dentro de la raza Saanen, de acorde al índice de AIC y BIC descritos en la Tabla 2, el modelo de Wilmink (1987) mostró mejor ajuste dentro de las cabras en la 1° lactancia y en las que estaban en la 3° o más lactancias, mientras que el modelo de Wood (1967) mostró el mejor ajuste dentro de las cabras en la 2° lactancia. En la raza Parda Alpina el modelo de Nelder mostró mejor ajuste dentro de las cabras en la 1° lactación, el modelo de Brody *et al.*, (1924) mostró el mejor ajuste en las cabras dentro de la 2° lactación y el modelo de Wilmink mostró el mejor ajuste en las cabras con 3 o más lactaciones. Para los todos los modelos de mejor ajuste y mencionados anterior, la prueba de Shapiro - Wilk comprueba el supuesto de normalidad de los residuales (e) de cada modelo ($p > 0,05$), mientras que la prueba de Levene mostró que hay igualdad de varianzas dentro de cada modelo ($p > 0,05$). En general, dentro de todos los subgrupos, los modelos de Brody *et al.*, (1924), Nelder (1966), Wilmink (1987) y Wood (1967) mostraron buena bondad de ajuste, al reflejar valores de $R^2 > 0,75$, de manera similar a valores reportados por Guimarães *et al.* (2006), de cabras Saanen, Parda Alpina y cruces entre ambas razas. A su vez los modelos ajustados de Wood, Nelder y Brody mostraron un ajuste razonable dentro del conjunto de modelos ajustados en dicho experimento, y están en sintonía con el estudio de Marín *et al.*, (2009) quienes demostraron que en cabras lactantes de raza Saanen, Alpina francesa, Alpina británica, Toggenburg y cabras mestizas, los modelos de Wood, Brody y Wilmink mostraron un $R^2 > 0,95$ en cabras de 1°, 2° y 3 o más lactancia.

Por otra parte, el modelo de Papajcsik y Bodero no mostró un razonable ajuste en comparación con los otros modelos evaluados, dado que su $R^2 < 0,75$ en los 6 subgrupos evaluados y su σ^2 es mayor que la obtenida en el resto de los modelos evaluados, resultado similar al reportado por Guimarães *et al.*, (2006), donde muestra que este modelo es el de menor R^2 entre los modelos evaluados, debido a que los datos evaluados no se ajustan al fuerte supuesto del parámetro fijo β_1 establecido por el modelo de Papajcsik y Bodero, que es una variante del modelo propuesto por Wood (1967) cuando $\beta_1 = 1$, similar a lo reportado por Montaldo *et al.*, (1997), donde para un conjunto de datos de cabras con cruces de raza Saanen, Parda Alpina y Toggenburg, con curvas de lactancia ajustadas mediante el modelo de Wood, los valores estimados para β_1 eran menores a 0,8.

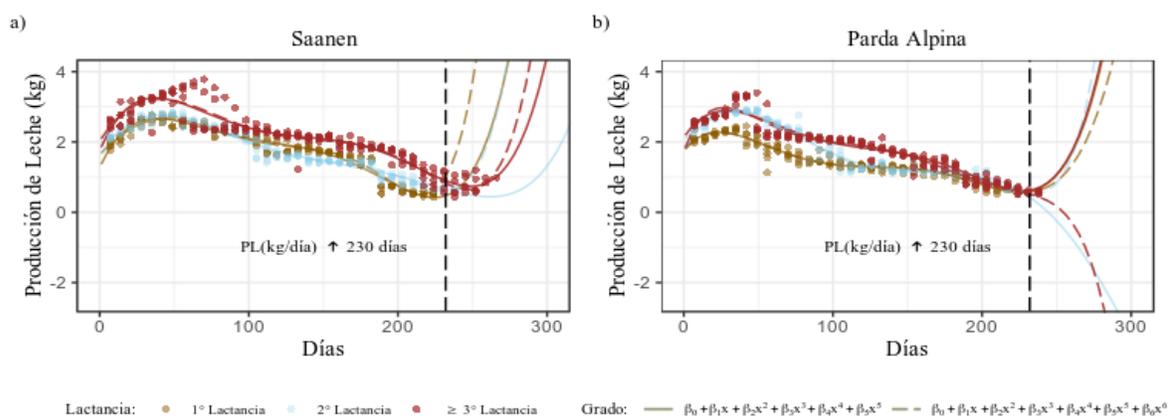


Figura 1. Modelos polinómicos de Grado 5 (línea sólida) y Grado 6 (línea cortada) por número de lactancia dentro de las razas Saanen (a) y Parda Alpina (b).

Cabe destacar que para cada subgrupo se ajustaron modelos polinómicos de grado 5 y 6 ($y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i t^i + e$ donde $n = 5$ y 6 respectivamente), mostraron buen ajuste dentro de cada subgrupo ($R^2 > 0,95$) pero no obstante, como lo sugiere la Figura 1, estas curvas ajustadas dentro de la raza Saanen y en la raza Parda Alpina (salvo en las cabras de 2° lactancia con el polinomio de grado 5 y las cabras de ≥ 3 con el polinomio de grado 6), la producción de leche en kg/día tiende a aumentar después de los 230 días a valores no corresponden al proceso biológico de lactancia, puesto que a estos días, la producción debería disminuir gradualmente hasta acercarse a la nulidad en caso de no haber un secado inducido de la cabra lactante.

Esto es a causa de que en estos modelos, los parámetros del grado superior (β_5 y β_6) tienden a ser mayores a cero ($\beta_5, \beta_6 > 0$), por lo que $\lim_{t \rightarrow \infty} y = +\infty$ en ambas funciones, por lo que a medida que aumenta el tiempo, y aumenta, y por tanto no tiene asíntotas horizontales como las mostradas en [2,1], [2,2], [2,3] y [2,4] para los modelos evaluados que mostraron un buen ajuste en al menos un subgrupo del presente estudio. Los parámetros estimados de los modelos con mejor ajuste en cada subgrupo de acorde a lo mostrado en la Tabla 2 están detallados en la Tabla 3 y las curvas de lactancia producto del ajuste de cada modelo para cada subgrupo según estos parámetros, están descritas en la Figura 2.

Tabla 2. Criterios de comparación entre modelos (AIC y BIC), números de iteraciones para convergencia, R^2 y σ^2 para los modelos ajustados según raza y números de lactancia.

Número de Lactancias	Modelo	N° Iter.	Saanen				Parda Alpina				
			R^2	σ^2	AIC	BIC	N° Iter.	R^2	σ^2	AIC	BIC
1	BR	10	0,84	0,27	41,63	53,93	7	0,95	0,16	-115,37	-103,19
	ND	10	0,79	0,31	89,28	101,59	6	0,95	0,16	-118,06	-105,88
	PB	8	0,74	0,35	122,64	131,86	13	0,55	0,47	210,91	220,04
	WD	9	0,89	0,22	-18,40	-6,08	6	0,94	0,17	-108,37	-96,19
	WT	2	0,92	0,19	-73,12	-60,82	1	0,94	0,18	-93,93	-81,75
2	BR	12	0,92	0,19	-68,49	-55,95	8	0,91	0,21	-40,99	-28,59
	ND	10	0,89	0,23	-7,18	5,36	10	0,90	0,22	-24,38	-11,98
	PB	10	0,72	0,37	145,29	154,70	12	0,63	0,43	192,31	201,61
	WD	6	0,95	0,16	-141,36	-128,8	7	0,91	0,21	-37,35	-24,95
	WT	2	0,94	0,17	-115,29	-103,1	1	0,86	0,27	37,38	49,78
≥ 3	BR	11	0,80	0,36	144,17	157,00	15	0,91	0,26	23,43	35,98
	ND	9	0,78	0,38	166,29	179,13	8	0,88	0,29	67,09	79,63
	PB	9	0,52	0,55	306,13	315,76	10	0,65	0,49	245,72	255,13
	WD	6	0,83	0,33	115,85	128,69	6	0,92	0,24	-4,27	8,27
	WT	1	0,84	0,32	103,52	116,35	1	0,93	0,23	-19,34	-6,79

BR = Brody *et al.*, (1924), ND = Nelder (1966), PB = Papajcsik y Bodero (1988), WD = Wood (1967), WT = Wilmink (1987). N°. Iter = número de iteraciones para convergencia. R^2 = coeficiente de determinación. σ^2 = varianza residual. AIC = Criterio de Información de Akaike, BIC = Criterio de Información Bayesiano. Valores en **negrita** muestran el mejor ajuste en cada subgrupo.

Tabla 3. Parámetros \pm desvíos estándares estimados de los modelos con mejor ajuste según raza y números de lactancias

	Saanen			Parda Alpina		
	1°	2°	$\geq 3^\circ$	1°	2°	$\geq 3^\circ$
	WT	WD	WT	ND	BR	WT
β_0	3,46 \pm 0,04*	1,07 \pm 0,06*	3,76 \pm 0,07*	1,20 \pm 0,17*	3,78 \pm 0,08*	3,27 \pm 0,05*
β_1	-0,01 \pm 3E-4*	0,36 \pm 0,02*	-0,01 \pm 4E-4*	0,30 \pm 0,01*	7E-3 \pm 1,9E-4*	-0,01 \pm 3E-4*
β_2	-2,17 \pm 0,11*	0,01 \pm 3E-4*	-1,63 \pm 0,20*	4E-3 \pm 1E-4*	0,12 \pm 5,2E-3*	-0,79 \pm 0,15*

WT = Wilmink (1987), WD = Wood (1967), ND = Nelder (1966), Brody *et al.*, (1924). * Parámetros con significancia ($p < 0,001$).

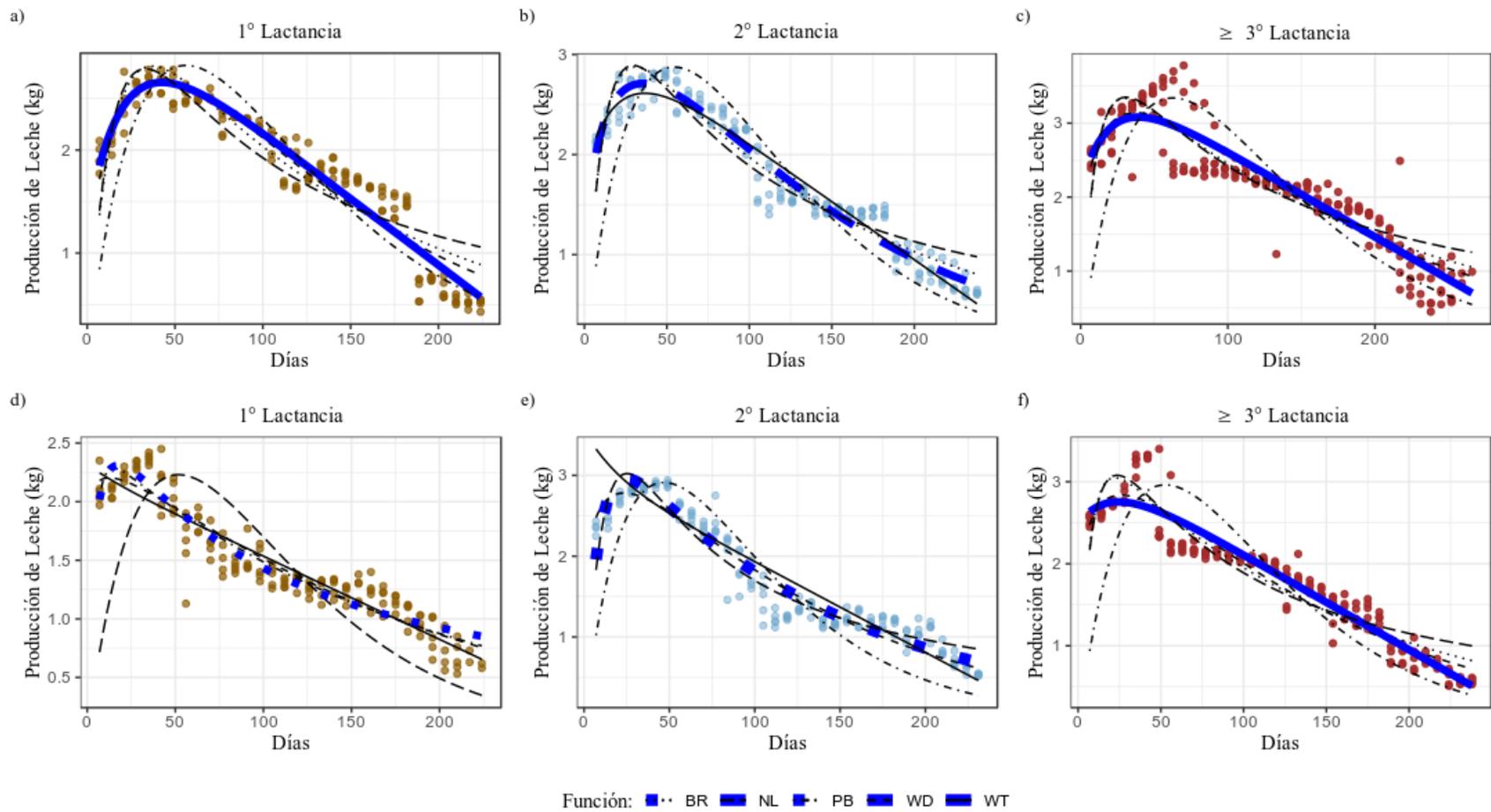


Figura 2. Comparación de los modelos ajustados de Brody (BR), Nelder (NL), Papajcsik y Bodero (PB), Wood (WD) y Wilmink (WT) a las curvas medias de producción de leche (kg/día) de las razas Saanen en 1° lactancia (a), 2° lactancia (b) y $\geq 3^{\circ}$ lactancia (c); y de Parda Alpina en 1° lactancia (d), 2° lactancia (e) y $\geq 3^{\circ}$ lactancia (f).

Esto es a causa que en los modelos de grado 5 y en el modelo 6, los parámetros del grado superior (β_5 y β_6) tienden a ser mayores a cero ($\beta_5, \beta_6 > 0$), por lo que $\lim_{t \rightarrow \infty} y = +\infty$ en ambas funciones, tendencia descrita por Nelder (1966), por lo que a medida que aumenta el tiempo, aumenta considerablemente y , y por tanto no tiene asíntotas horizontales como las mostradas en [2,1], [2,2], [2,3] y [2,4] para los modelos evaluados que mostraron un buen ajuste en al menos un subgrupo del presente estudio.

Cabe destacar, que para el modelo de Wilmink ajustado dentro de la raza Saanen para las cabras con una y tres o más lactancias, así como para las cabras de raza Parda Alpina con tres o más lactancias, $\beta_1 < 0$, por lo que según lo mostrado anteriormente en [2,4], $\lim_{t \rightarrow \infty} y = -\infty$ si $\beta_1 < 0$, resaltando que en estos modelos ajustados, la producción diaria de leche tiende a caer a valores de 0 kg/día cuando transcurren los días en el rango de 257-300 días.

Parámetros Productivos

Basado en los criterios de AIC y BIC reportados en la Tabla 2 y según las tendencias del comportamiento productivo de las razas y número de lactancias mostradas en la Figura 2, que agrupa las curvas de las funciones no lineales con mejor ajuste para cada conjunto de cabras agrupados según la raza y el número de lactancias para las cabras Saanen de primera, segunda y tercera lactancia, donde se escogieron los modelos de Wilmink (WT), Wood (WD) y Wilmink (WT) respectivamente, y para las cabras Parda Alpina de primera lactancia se seleccionó el modelo de Nelder (NL), para las cabras en segunda lactancia el modelo de Brody (BR) y para cabras de tercera lactancia el modelo de Wilmink (WT). Resultados similares fueron reportados por Martínez *et al.*, (2018) donde investigó el ajuste de diversos modelos no lineales para las curvas de lactancia en cabras Saanen manejadas en sistema semi-estabulado en Argentina, la cual señaló que no es posible sugerir un único modelo que explique las curvas en cabras lecheras según el número de parto, por lo tanto, es fundamental comparar el ajuste de varios modelos para seleccionar el o los modelos con mejor ajuste, para representar adecuadamente el proceso biológico de lactancia y por tanto, tener mejores referencias para conocer el rendimiento en cabras lecheras.

Se encontró que en las lactaciones dentro de la raza Saanen, se encuentran las mayores producciones máximas diarias (y_{max}), con valores de 2,66; 2,72 y 3,10 kg para las cabras en la 1°, 2° y 3 o más lactancias respectivamente, mientras que para la raza Parda Alpina se registran valores medios de y_{max} de 2,31; 2,95 y 2,76 kg para las cabras en 1°, 2° y 3° o más lactancias respectivamente.

De manera similar, se encontraron mayores valores medios para PL_{220} en la raza Saanen con valores medios de 405,86, 404,92 y 513,72 kg de leche para las cabras en la 1°, 2° y 3° o más lactancias

respectivamente, mientras que para las cabras de la raza Parda Alpina fue de 318,51, 377,24 y 422,77 kg de leche para las cabras en 1°, 2° y 3° o más lactancia, respectivamente. La producción promedio (y_{prom}) dentro de la raza Saanen, fueron de 1,84, 1,84 y 2,34 kg promedio respectivamente. Los valores medios estimados de la raza Saanen en este estudio son similares a los reportados por Steffen *et al.*, (2021), donde en condiciones templadas, la raza Saanen reportó valores medios de 571,77 kg para el conjunto de cabras Saanen en 3° lactancia, en un periodo de lactación de 240 días.

Es notable que, en estos tres parámetros productivos mencionados, las cabras de raza Saanen en la 3° o más lactancias mostraron significativamente los mayores valores medios dentro de los subgrupos evaluados ($p < 0,05$), al igual dentro de los subgrupos dentro de la raza Parda Alpina para PL_{220} y y_{prom} , donde se encuentran los mayores valores medios de estos parámetros para las cabras en la 3° o más lactancias. Además de lo antes descrito en la Tabla 5 los parámetros y_{max} y PL_{220} están altamente correlacionados ($r = 0,81$) indicando que este desempeño superior con respecto a los otros subgrupos con menor lactancias está explicado por un mayor desarrollo de las glándulas mamarias a medida que aumenta la edad de las cabras (Marín *et al.*, 2009; Frau *et al.*, 2010).

Tabla 4. Estimaciones medias de t_{max} , y_{max} , PL_{220} , y_{prom} , SD (Pers) y coeficiente de determinación (R^2) \pm desvíos estándares obtenidas por lactancia ajustada.

	Saanen			Parda Alpina		
	1°	2°	$\geq 3^\circ$	1°	2°	$\geq 3^\circ$
	WT	WD	WT	ND	BR	WT
R^2	0,93 \pm 0,02	0,96 \pm 0,01	0,89 \pm 0,02	0,90 \pm 0,03	0,92 \pm 0,03	0,92 \pm 0,01
t_{max}	42,29 \pm 3,21 ^a	35,90 \pm 3,78 ^a	38,18 \pm 7,23 ^a	17,85 \pm 1,91 ^b	24,93 \pm 2,12 ^b	24,17 \pm 3,3 ^b
y_{max}	2,66 \pm 0,03 ^c	2,72 \pm 0,06 ^c	3,10 \pm 0,13 ^a	2,31 \pm 0,07 ^d	2,95 \pm 0,05 ^b	2,76 \pm 0,06 ^c
PL_{220}	405,86 \pm 4,7	404,92 \pm 4,5	513,72 \pm 27,	318,51 \pm 3,6	377,24 \pm 5,5	422,77 \pm 9 ^b
o	9 ^b	9 ^b	4 ^a	3 ^d	4 ^c	
y_{prom}	1,84 \pm 0,02 ^b	1,84 \pm 0,02 ^b	2,34 \pm 0,12 ^a	1,45 \pm 0,02 ^d	1,71 \pm 0,03 ^c	1,92 \pm 0,04 ^b
Pers	0,61 \pm 0,01 ^b	0,54 \pm 0,02 ^c	0,66 \pm 0,04 ^a	0,27 \pm 0,01 ^e	0,49 \pm 0,02 ^d	0,59 \pm 0,02 ^b

WT = Wilmink (1987), WD = Wood (1967), ND = Nelder (1966), Brody *et al.*, (1924). R^2 = Coeficiente de determinación, t_{max} = Tiempo de Producción máxima diaria de leche, y_{max} = Producción máxima diaria de leche, PL_{220} = Producción de leche acumulada a los 220 días, y_{prom} = Producción de leche promedio, Pers = Persistencia. Medias en la misma fila con letras minúsculas iguales son equivalentes entre raza y números de partos ($p < 0,05$).

Con relación al tiempo de máxima de producción lechera (t_{max}), los resultados muestran que para las cabras de la raza Parda Alpina llegan a la producción máxima diaria de leche (y_{max}) en menor tiempo que las cabras de la raza Saanen ($p < 0,05$), donde las cabras de la raza Parda Alpina mostraron valores medios de t_{max} de 17,85; 24,93 y 24,17 días para las cabras de 1°, 2° y 3 o más lactancias respectivamente, mientras que las cabras de la raza Saanen mostraron valores medios entre 35 y 43 días similares a los reportados por Marín *et al.*, (2009), donde para un conjunto de cabras de diversas razas, entre ellas la Saanen, tuvieron valores medios del tiempo de producción diaria máxima en un rango entre 33 a 43 días. A su vez, los resultados descritos en la Tabla 5 sugieren una fuerte correlación entre las variables t_{max} y PL_{220} ($r = 0,63$), indicando que altos registros de PL_{220} se encuentran en lactancias donde y_{max} que se alcanzan en mayor cantidad de días.

Tabla 5. Tabla de correlaciones (ρ) entre variables entre variables entre y_{max} , t_{max} , PL_{220} y $Pers$.

	y_{max}	t_{max}	PL_{220}	$Pers$
y_{max}	1	0,42	0,81	0,77
t_{max}		1	0,63	0,74
PL_{220}			1	0,88
$Pers$	<i>sym.</i>			1

y_{max} = Producción máxima diaria de leche, t_{max} = Tiempo de producción máxima diaria de leche, PL_{220} = Producción de leche acumulada a los 220 días, $Pers$ = Persistencia (desvío estandar).

Además, se reportan valores medios de persistencia mayores ($p < 0,05$) en las cabras de la raza Parda Alpina con respecto a las cabras de la raza Saanen, donde además se encuentra que esta variable está fuertemente correlacionada con la variable PL_{220} ($r = 0,88$), sugiriendo que mayores producciones acumuladas de leche son esperables a medida que la producción láctea no baje abruptamente y se mantenga.

Se espera que a medida que aumenten el número de partos en cabras, la persistencia se reduzca (Gipson y Grossman, 1990), tendencia que se observan en las cabras de la raza Parda Alpina, donde basados en el criterio expuesto que a mayores valores para la ecuación [6], disminuye la persistencia en una lactancia, tenemos que los valores de las cabras en la 1° y 2° lactancia ($Pers = 0,27$ y $0,49$) mostraron ser más persistentes significativamente ($p < 0,05$) en este estudio, con respecto a las cabras de la raza Saanen ($0,61$; $0,54$ y $0,66$ para las cabras de en 1°, 2° y 3 o más lactancias respectivamente), mientras que dentro de cada raza, las cabras con 3 o más lactancias mostraron ser menos persistentes que las cabras en la 1° y 2° lactancia ($0,66$ y $0,59$ para las cabras de raza Saanen y Parda Alpina respectivamente).

Varios autores (Gibson y Grossmann, 1990; Gengler, 1996) sugieren que a medida que las cabras aumenten su número de partos, la producción de leche decae con mayor celeridad en los días posteriores al día donde se da la producción máxima diaria de leche, por tanto, si se expresa la persistencia en función de la capacidad de mantener el pico de producción diaria de leche, se dice que hay menos persistencia de la producción lechera a medida que aumenten las pariciones en las cabras. Por tanto, en el presente estudio se observa, de forma más latente en las cabras de la raza Parda Alpina, que las tasas de producción de leche con respecto al tiempo decaen con menor velocidad en las cabras de 1° lactancia que con respecto a las cabras en la 2° y en la 3° o más lactancias. A su vez, la producción de leche de las cabras de la raza Parda Alpina decae con menor velocidad que respecto a la producción lechera de las cabras de la raza Saanen luego de los 100 días de lactancia, explicado con una alta correlación mostrada en la Tabla 5 entre y_{max} y los valores de la ecuación [6] ($r = 0,77$), por lo tanto, se dice que las cabras más persistentes tuvieron valores de y_{max} menores, caso mostrado por las cabras de la raza Parda Alpina con respecto a las de raza Saanen.

Cabe destacar las tendencias mostradas en la Figura 3, correspondientes a las ecuaciones de las pendientes según lo expresado en [7] para $70 < t < 220$ días en los modelos de mejor ajuste según las lactancias agrupadas cuyas expresiones para el modelo de Brody, Wood, Wilmlink y Nelder corresponden a [3,1], [3,3], [3,5] y [3,7] respectivamente, donde se visualiza que después de los 100 días en la raza Parda Alpina, la tasa de cambio de la producción diaria de leche con respecto al tiempo descrita en la (Figura 3-a) es menor para las cabras en la 1° lactancia ($- 0,0056 \pm 0,0003$

kg leche/día), seguido por las cabras en la 2° lactancia ($-0,0101 \pm 0,0004$ kg leche/día) y las cabras con 3 o más lactancias ($-0,0114 \pm 0,0006$ kg leche/día), mientras que para las cabras de la raza Saanen (Figura 3-b), la tasa de cambio (kg/día) de la producción diaria de leche disminuye con menor tasa en las cabras en la 2° lactancia ($-0,0109 \pm 0,0005$ kg leche/día), luego en las cabras con 3 o más lactancias ($-0,0111 \pm 0,0004$ kg leche/día) y en las cabras en 1° lactancia ($-0,0125 \pm 0,0002$ kg leche/día). Esto indica que a medida que disminuyan los valores de las tasas de cambio de la producción de leche con respecto al tiempo, dado en [7], hay menor persistencia dentro de la fase descendente, dado que se encontraron mayores valores de desvíos estándares en este estudio.

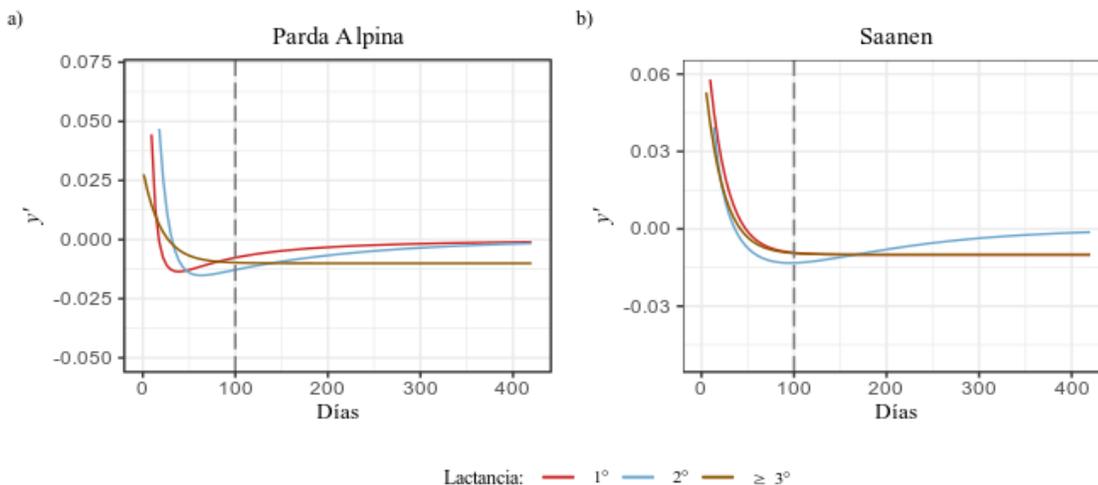


Figura 3. Curvas correspondientes a la pendiente (tasa de cambio de y con respecto a t) en kg/día a lo largo del intervalo de tiempo de la curva de lactancia con respecto a los modelos con mejor ajuste por cada lactancia en la raza Parda Alpina (a) y Saanen (b).

CONCLUSIONES

Los modelos no lineales de Wood (1967), Nelder (1966), Brody *et al.*, (1924) y Wilmink (1987) muestran un óptimo ajuste para los subgrupos en base a la raza y al número de partos ajustados en el presente estudio, siguiendo las particularidades asintóticas del proceso biológico de la lactación en cabras, permitiendo la estimación de parámetros productivos de interés para la toma de decisión en programas de selección y gestión de la producción lechera.

Las cabras de las razas Saanen muestran mayores valores en los parámetros de y_{max} , PL_{220} , y_{prom} y persistencia, mientras que las cabras de la raza Parda Alpina toman menor cantidad de días para llegar a la producción máxima diaria de leche. Por otro lado, a medida que aumenta el número de partos en las cabras, aumentan los valores estimados de y_{max} y PL_{220} , y disminuye la persistencia dentro de la fase descendente de la curva de lactación.

Se sugiere realizar el ajuste de las curvas de lactancia según el número de partos y razas, dado que en este estudio encuentra diferencias con respecto a parámetros asociados a la posición de la curva (t_{max} , y_{max}), así como en la forma de la curva (PL_{220} , persistencia). Además, se recomienda evaluar para estudio otros tipos de modelos para el ajuste de curvas de lactancias como los modelos con

Splines o los modelos regularizados (Ridge, Lasso) para evaluar sus propiedades y bondades de ajuste para las curvas de lactación en condiciones propias del país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los productores de cabras lecheras, el Sr. Gabriel J. Remy R. y la Sra. Norma E. Serrano M. propietarios de La Granja del Tío Remy por facilitar la base de datos utilizada en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Bidot, A. (2017). Composición, cualidades y beneficios de la leche de cabra: Revisión bibliográfica. *Revista de Producción Animal*, 29(2), 32-41. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v29n2/rpa05217.pdf>
- Brody, S., Turner, C.W. & Ragsdale, A.C. (1924). The relation between the initial rise and the subsequent decline of milk secretion following parturition. *Journal of Genetic Physiology*, 6, 541-545.
- Chacón, A. (2005). Aspectos nutricionales de la leche de cabra y su papel en la alimentación humana. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 16(2), 239-252. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/11878/11188>
- 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>
- Gengler, N. (1996). Persistency of lactation yields: a review. *Interbull Bulletin*. 12.
- Gipson, T.A., Grossman, M. (1990). Lactation curves in dairy goats: a review. *Small Ruminant Research*. 3, 383-396.
- González-Peña, D., Acosta, J., Guerra, D., González, N., Acosta, M., Sosa, D., & Torres-Hernández, G. (2012). Modeling of individual lactation curves for milk production in a population of Alpine goats in Cuba. *Livestock Science*, 150(1-3), 42-50. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2012.07.026>
- Guimarães, V.P., Rodrigues, M.T., Sarmiento, J.L.R., da Rocha, D.T. (2006). Utilização de funções matemáticas no estudo da curva de lactação em caprinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(2), 535-543. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200028>
- Leithold, L. (1994). El Cálculo, 7ª Edición. Oxford University Press, Oxford.

- Marin, P., Agudelo, D., Restrepo, L., Cañas, J. y Cerón, M. (2009). Curvas de lactancia de cabras mestizas utilizando modelo matemático no lineales. *Revista Lasallista de Investigación*, 6(1), 43-49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3400830>
- Martinez, G.; León, J.; Suarez, V. y Barba, C. (2018). Determinación de la curva de lactancia de cabras Saanen del noroeste argentino. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 17(1), 6-11. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=617767037002>
- Montaldo, H., Almanza, A. & Juárez, A. (1995). Genetic group, age and season effects on lactation curve shape in goats. *Small Ruminant Research*. 24, 195-202. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(96\)00946-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00946-7)
- Nelder, J.A. (1966). Inverse polynomials a useful group of multi-factor response functions. *Biometrics*, 22(1), 128-141.
- Papacsjik, I.A. y Bordero, J. (1988). Modelling lactation curves of friesian cows in a subtropical climate. *Animal Production*. 47(2), 201-207.
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. & Flannery, B.P. (1992). Numerical recipes in C: the art of scientific computing, 2° edición. *Cambridge University Press, Cambridge*.
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. Recuperado en 22 de junio de 2022, URL <https://www.R-project.org/>.
- Sölkner, J., Fuchs, W. (1987). A Comparison of different measures of persistency with special respect to variation of test-day milk yields. *Livestock Production Science*, 16, 305-319. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(87\)90001-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(87)90001-7)
- Steffen, K.D., & Arias, R.O., & Moré, G., & Gortari, L. (2021). Caracterización de la curva de lactancia y rendimiento en cabras Saanen de un tambo semi-intensivo de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 20(1),41-46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=617769130005>
- Wilmink, J.B.M. (1987). Comparison of different methods of predicting 305-day milk yield using means calculated from within herd lactation curves. *Livestock Production Sciences*. 17, 1-17. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(87\)90049-2](https://doi.org/10.1016/0301-6226(87)90049-2)
- Wood, P.D.P. (1967). Algebraic model of lactation curve in cattle. *Nature*, 216, 164-165. <https://doi.org/10.1038/216164a0>

EVOLUCIÓN DEL CRECIMIENTO Y LA SIMETRÍA CORPORAL EN BÚFALOS DE LA RAZA BUFFALYPSO (*BUBALUS BUBALIS*) EN BOCAS DEL TORO, REPÚBLICA DE PANAMÁ

EVOLUTION OF BODY GROWTH AND SYMMETRY IN BUFFALYPSO WATER BUFFALO (*BUBALUS BUBALIS*) IN BOCAS DEL TORO, REPUBLIC OF PANAMÁ

*Edil E. Araúz S.**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. edil.arauz@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0003-1204-0272>

Josué Y. Vanegas. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. josueyasser05@gmail.com

José Ramón Binns. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Desarrollo Agropecuario. Panamá. jose.binns@up.ac.pa

Alex Solís. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. alex.solis@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0002-1764-2654>

Alirio De Jesús Colmenares C.. Investigador Independiente. Panamá. aliriocolmenares28@gmail.com

José I. Norato A. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. jose.norato@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0002-8356-6725>

Milva L. Vergara. Investigador Independiente. Panamá. mdevvega@gmail.com

*Correo de Correspondencia: edil.arauz@up.ac.pa, edilenriquea@gmail.com

Recibido: 11/08/2022

Aceptado: 05/01/2023

RESUMEN. La evolución del crecimiento y la simetría corporal fueron evaluadas en los primeros 36 meses de vida en 146 búfalos de la raza Buffalypso (*Bubalus bubalis*) según el sexo; bajo alimentación con pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*), salvo en los lactantes en el clima tropical húmedo (ITH anual 77.91 ± 1.24) en La Provincia de Bocas del Toro, República de Panamá. El peso y los índices simétricos corporales fueron diferentes en los primeros 36 meses de vida según el sexo ($P < .001$). Los machos (61) y hembras (85) pesaron a los 12 meses (207.8 y 176 kg; $p < .001$), 24 (306.6 y 248.1 kg; $p < .001$) y 36 meses (373.77 y 368.1 kg, $p > .05$); resultando los machos superiores en 18.04, 23.58 y 1.48% a las hembras; alcanzando entre 85 y 89% del peso racial Buffalypso. Las ganancias de pesos sectoriales fueron: lactantes (buceros 0.554 y bucerras 0.530 kg/día, $P > .05$), 12 a 24 meses (machos 0.258 y hembras 0.146 kg/día, $P < .01$), 24.1 a 30 meses (machos 0.419 y hembras 0.468 g/día, $P > .05$) y de 30.1 a 36 meses (machos 0.160 y hembras 0.261 kg/día, $P < .01$). Los índices simétricos corporales estuvieron correlacionados positivamente con la edad en ambos sexos (0.59 a 0.97, $P < .0001$). La evolución del crecimiento según el peso y la simetría corporal fue sigmoideal polinómica en ambos sexos alimentación con Tanner, pero inferior al peso racial Buffalypso; indicando la necesidad de implementar ajustes en nutrición, alimentación, salud y manejo para incrementar el crecimiento y la productividad del Búfalo de Agua Buffalypso en Panamá.

PALABRAS CLAVE: búfalo de agua, crecimiento, raza Buffalypso, simetría corporal, Trópico.

ABSTRACT. The evolution of body growth and symmetric dimensions in the Buffalypso water buffalo (*Bubalus bubalis*) were evaluated by sex across the first 36 months under a feeding model based on Tanner (*Brachiaria arrecta*) at annual THI 77.91 ± 1.24 °C in 146 buffaloes in Bocas del Toro Province, Republic of Panama. Body weight and symmetric indexes were different in the first 36 months ($P < .001$). Body weight in males (61) and females (85) were at 12 months (207.8 and 176 kg, $p < .001$), 24 (306.6 and 248.1 kg, $p < .001$) and at 36 months (373.77 and 368.2 kg, $p > .05$); resulting males heavier than females in 18.04, 23.58 and 1.48%. Those values represented 85 to 89% of the Buffalypso weight pattern. The sectorial body weight gains were highest in the first eight months (males 0.554 kg/day and females 0.530 kg/day, $P > .05$), 12 to 24 months (males 0.258 and females 0.146 kg/day, $P < .01$), 24.1 to 30 months (males 0.419 and females 0.468 kg/day, $P > .05$); and from 30.1 to 36 months (males 0.160 and 0.261 kg/day, $P < .01$). Body dimensional parameters were positively correlated to body weight and age in both sexes from 0.59 to 0.97 ($P < .0001$). The evolution of body growth according to body weight showed a sigmoidal polinomic shape, but it was below the Buffalypso growth pattern under the feeding model based on Tanner, which indicated the needs for adjustments in nutrition, feeding, health and management to increase the growth rate and productivity of Buffalypso water buffalo in Panamá.

KEYWORDS: body Growth, Buffalypso Breed, Body Symmetry, Tropic, Water Buffalo.

INTRODUCCIÓN

La raza Buffalypso es reconocida en la actualidad como el aporte del Dr. Stephen Bennett, quien a través de múltiples observaciones biológicas, científicas y técnicas estructuró un programa de cruzamientos ordenados para reducir la prevalencia e incidencia de enfermedades al aumentar la resistencia y mejorar la aptitud para la producción de carne a partir del Búfalo de Agua; utilizando otras razas bufalinas con aptitudes de leche y carne (Fonseca, 2016). El programa de cruzamiento del Dr. Bennett utilizó las razas de búfalos Murrah, Jaffarabadi, Nili-Ravi, Bhadawari y Surti con el Búfalo de Agua; a partir de los cuales se originó el espécimen *Bubalus bubalis*, cuyo nombre Buffalypso fue adjudicado al combinar las palabras búfalo y calypso por las características de la Isla Trinidad y Tobago (Fonseca, 2016). Desde entonces, el Búfalo que se ha utilizado en la región del Caribe, Suramérica y Centro América es mayoritariamente este tipo genético, salvo cuando se han importado otras razas; como: Murrah, Jaffarabadi, Mediterránea, Nili-Ravi y Surti procedentes de la India, Italia y Brasil. El búfalo de agua es una especie alternativa reconocida mundialmente para la producción de leche y carne a bajo costo por sus características biológicas y adaptación para emplear recursos forrajeros y relieves geográficos no utilizables por otros rumiantes (Almaguer, 2007); demostrando una mayor eficiencia y productividad (Fundora, 2015; Bertoni *et al.*, 2020).

El crecimiento corporal se fundamenta en la replicación celular (hiperplasia) y en el crecimiento de las células (hipertrofia); cuya forma sigmoidea tipifica a los bovinos desde el nacimiento hasta la adultez según el peso corporal y la edad (Owens *et al.*, 2014). Los búfalos poseen la mayor tasa de crecimiento entre los bovinos; alcanzando el peso para el sacrificio en periodos más cortos debido a la mayor conversión alimenticia para aprovechar los forrajes en comparación con los bovinos taurinos y cebuínos (Vale *et al.*, 2002; Angulo *et al.*, 2005; Fundora, 2015).

Los cambios en el peso y el tamaño hasta la adultez evidencian la complejidad del crecimiento en su contexto biológico, orgánico, sistémico y citológico; el cual se ha expresado en varios modelos matemáticos regresivos (Kratochvílová *et al.*, 2002). El crecimiento se cuantifica según los cambios en el peso corporal; pudiendo ser continuo o sectorial según la edad (Bavera *et al.*, 2005; Araúz, 2010; Araúz *et al.*, 2017). En consecuencia, el peso, la estatura y las condiciones de producción conforman el modelo bufalero y sus características productivas en base al microambiente y manejo integral para la producción bufalina sostenible (Almaguer, 2007; Crudeli, 2013; Bertoni *et al.*, 2020).

El búfalo de agua es una especie rumiante eficiente para producir carne y leche en los sistemas de pastoreo (Álvarez *et al.*, 2021); en especial en áreas donde los bovinos taurinos e indicus no son exitosos (Amorin *et al.*, 1999). El búfalo del mediterráneo ha sido evaluado para caracterizar su crecimiento desde el nacimiento hasta los 720 días (24 meses); encontrándose pesos entre 517 kg y 568 kg con curvas de crecimiento sigmoideas (Alves y Franzolin, 2015) con variaciones por nutrición, ambiente, genética y manejo (Fitzhugh, 1976; Alves y Franzolin, 2015).

El estudio del crecimiento y desarrollo del búfalo debe considerar el sexo, el sistema de crianza (amamantamiento directo versus alimentación especial) y el entorno micro ambiental (Kantharaja *et al.*, 2018). El crecimiento y desarrollo en los primeros tres años de vida del búfalo son críticos para los sistemas bufalinos, ya que representan la oportunidad de la venta de carne y leche. En

consecuencia, cada sistema de producción bufalino demanda de la evaluación del crecimiento y de los cambios en los índices simétricos corporales para determinar el patrón bioeconómico (Vale y Lourenzo, 2002).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la trayectoria del crecimiento corporal según el desarrollo somático continuo y sectorial con el apoyo de los principales índices simétricos en el búfalo de la raza Buffalypso según el sexo en los primeros 36 meses de vida en la alimentación a base de pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*); con excepción de la fase lactante, en la Provincia de Bocas en el clima tropical húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó en la Unidad de Producción Bufalina Ganadera Atlántica S. A., Provincia de Bocas del Toro, República de Panamá; propiedad del Grupo Athanasiadis. Esta región tiene un clima tropical húmedo costero (Wikipedia, 2022). Los datos climáticos de la región mostraron una temperatura ambiental media anual de 25.8°C, precipitación pluvial anual 3342 mm, humedad relativa promedio 85% y los vientos oscilaron entre 1.0 a 5.0 km/hora (Climatic Data, 2018-2022). Las observaciones locales de temperatura ambiental y humedad relativa fueron obtenidas en 3 veces/mes a las 06 am, 12 md y 06 pm durante tres años según información climática disponible en Etesa (2018-2020).

Animales experimentales, categorías, peso y edad

Se evaluaron 146 búfalos de agua de la raza Buffalypso [(61 machos (41.78%) y 85 hembras (58.22%)] para determinar la simétrica corporal y la morfología dimensional. Los animales identificados con aretes permanentes de plástico fueron categorizados en las siguientes clases: 1(<6 meses), 2(6.1 a 12 meses), 3(12.1 a 18 meses), 4(18.1 a 24 meses), 5(24.1. a 30 meses) y 6(30.1 a 36 meses). El peso y la edad fueron empleados para generar el crecimiento y tipificar el desarrollo corporal por sexo (Barrera *et al.*, 2020) y a la vez determinar la ganancia de peso sectorial (Araúz, 2010).

Perfil de alimentación y manejo nutricional

El manejo alimentario incluyó el suministro de calostro y la leche para la etapa de lactante; uso del pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*), gramíneas nativas y leguminosas propias del área. El pastoreo rotacional se realizó según el número de divisiones, la cobertura del pasto, el pastoreo máximo al 40% de uso de la biomasa inicial con una carga animal genérica de 1.666 animales por hectárea y una recuperación entre 20 y 26 días.

El pasto Tanner fue analizado según el método estándar de la AOAC (2010) y los resultados más relevantes fueron: contenido de fibra ácido detergente 38.7%, fibra neutro detergente 66.3%, proteína total 9.4%, proteína soluble 0.77%, nutrientes digestibles totales 61.7%, energía neta de

mantenimiento 1.39 Mcal/kg, energía neta de ganancia 0.84 Mcal/kg, Ca 0.21%, P 0.25%, Mg 0.15% y K 2.1% en base seca y la materia seca en campo fue 23.8% según el reporte del Laboratorio de Cooleche en Bugaba.

Entorno físico para los búfalos en Ganadera Atlántico

El entorno físico para los búfalos presentó áreas con pasto Tanner (*Brachiaria arrecta*) con secciones inundadas y bosques. Las áreas de pastoreo presentaron una mayor inundación (Figura 1) en los meses lluviosos y menor inundación en los meses secos (figuras 2 y 3). Los meses más lluviosos fueron mayo a diciembre, con precipitaciones pluviales entre 272 a 286 mm/mes y los meses de sequía (enero a abril) con lluvias entre 183 a 126 mm/mes (Figuras 4 y 5).



Figura 1 y 2. Áreas de pastoreo con encharcamiento, bosques y pasto Tanner.



Figura 3. Mangas de pastoreo, cobertura forrajera y área inundada.



Figura 4. Pasturas en la época seca.



Figura 5. Pasturas en la época lluviosa.

Psicrometría, Índice Temperatura - Humedad y Estrés Calórico Potencial

El entorno climático en la Provincia de Bocas del Toro, República de Panamá fue caracterizado según la información macro y microclimática (Climatic Data, 2018-2020) y Geotsy (2018 - 2021). El Índice de sensibilidad térmica para bovinos (ITH_{bovinos}) se determinó mediante la ecuación (1) descrita por Dickmen y Hansen, 2009).

$$ITH_{\text{bovinos}} = (0.8 \times T_{\text{db}}) + [(RH/100) \times (T_{\text{db}} - 14.4)] + 46.4 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde T_{db} es la temperatura del aire bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$) y RH es la Humedad Relativa (%)

Indicadores somáticos y simétricos del crecimiento y desarrollo corporal

El peso corporal (kg) fue determinado con una balanza digital con barras estabilizadoras y Visor Zebra k2. La simetría corporal incluyó: altura a la cruz (AC), altura de grupa (AG), ancho entre hombros (AH), ancho de grupa (AG), largo de cabeza (LCZ), ancho de la cabeza (AC), largo corporal (LC), ancho de cabeza (ACZ) y perimetría torácica (PT); todos expresados en centímetros (cm) según Echeverry (2006).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El peso y los indicadores simétricos fueron analizados por varianza, regresión y correlación. En el análisis de varianza se utilizó los modelos aditivos $Y_{ij} = u + A_i + e_{ij}$ y $Y_{ijk} = u + A_i + B_k + (AB)_{ik} + e_{ijk}$; siendo Y_{ijk} = el peso y los índices simétricos, A_i : sexo i^{mo} ; B_k : la categoría por edad, $(AB)_{ik}$ es la Interacción y e_{ijk} el residuo. La significancia empleada fue al 1% ($P < .01$) y 5% ($P < .05$) para la comparación de medias por Tukey (Gill, 1987) y Herrera y Barreras (2001).

La tendencia del crecimiento se obtuvo por regresión polinomial con el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) para la regresión

$$Y_{ijk} = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + b_4X^4; \quad \text{Ecuación (2)}$$

Siendo Y el peso (kg), X la edad (meses), b_0 fue el intercepto, b_1 , b_2 , b_3 y b_4 fueron los coeficientes de regresión para el ajuste lineal, cuadrático, cúbico y cuártico. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS (2004) según las directrices de Herrera y Barreras (2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tipificación microclimática del entorno de la explotación bufalina

El entorno climático de la Provincia de Bocas del Toro presentó una temperatura ambiental mínima de 24.24 ± 0.57 °C, temperatura ambiental máxima anual 29.33 ± 0.62 °C y el ITH anual fue 77.66 ± 1.28 . El estrés térmico máximo diurno fue 82.27 ± 1.60 con una duración episódica de 2 a tres 3 horas (Tablas 1 y 2). Estos valores representan un reto termoregulatorio para mantener el balance calórico corporal en el búfalo debido a las limitaciones sudoríparas por su morfohistología tegumentaria (Debarma *et al.*, 2018) y por la menor capacidad termolítica activa en comparación con los bovinos (Alves *et al.*, 2022). El episodio diferencial por estrés calórico diurno máximo fue de + 5.13 con potencial para causar alteraciones neurológicas, endocrinas, metabólicas y respiratorias en los bóvidos (Araúz *et al.*, 2010); especialmente en el búfalo (Alves *et al.*, 2022).

El entorno ambiental para el búfalo requiere masas de agua para la inmersión, la sombra natural densa y la nubosidad; los cuales se conjugan para evitar el sobrecalentamiento corporal (Barros *et al.*, 2016). Otros estudios indican que los búfalos expuestos entre 31.1 a 31.8 °C con un ITH de 79.7 a 80.6 pueden mantener la homeotermia (Barros *et al.*, 2021); aunque la termoneutralidad es de 15.5 a 21.2 °C (Narain, 1962).

Tabla 1. Perfil psicrométrico y climático mensual ajustado en la Provincia de Bocas.

Psicrometría	Meses anuales secuenciales											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura mínima (°c)	22	22	23	23	24	23	23	23	23	23	23	22
Temperatura máxima (°c)	28	29	29	30	30	30	29	30	30	29	29	29
Temperatura promedio (°c)	25.2	25.5	26.1	26.5	27.2	26.6	26.3	26.5	26.4	26.1	26.2	25.6
Precipitación pluvial (mm)	183	135	136	126	272	248	293	241	189	270	356	286
Humedad relativa (%)	79	77	78	80	85	86	85	85	86	87	86	82
Días más lluviosos (n°)	15	14	16	15	19	20	21	20	20	20	19	17
Fotoperiodo (hr)	7.2	7.7	7.9	8.1	7.8	7.9	7.4	7.8	8.3	7.9	7.0	6.7
ITH Promedio	75.1	75.4	76.4	77.3	79.0	78.2	77.6	77.9	77.8	77.5	77.5	76.1
ITH máximo	79.5	80.8	81.0	82.9	83.7	83.8	82.0	83.6	83.8	82.3	82.2	81.6

Ene (Enero), Feb (Febrero), Mar (Marzo), Abr (Abril), May (Mayo), Jun (Junio), Jul (Julio), Ago (Agosto), Sept (Septiembre), Oct (Octubre), Nov (Noviembre) y Dic (Diciembre).

Tabla 2. *Psicrometría media anual del entorno en la región Atlántica en Bocas del Toro.*

Parámetro psicrométrico y unidades de expresión	Media	DE	CV (%)
Temperatura Ambiental diaria (°C)	24.2	± 0.57	2.35
Temperatura Ambiental Mínima (° C)	22.8	±0.55	2.42
Temperatura Ambiental Máxima (° C)	29.3	± 0.62	2.13
Humedad Relativa (%)	83.0	± 3.44	4.14
Precipitación Pluvial Anual (mm)	2735	± 843.6	30.84
Precipitación Pluvial Mensual (mm)	227.9	± 70.30	30.84
Índice Temperatura - Humedad Promedio (°C%)	77.1	± 1.13	1.46
Índice Temperatura-Humedad Máximo Diurno °C%	82.3	± 1.60	1.94

DE Desviación Estándar CV Coeficiente de variación Observaciones climáticas en 3 años (108).

El estudio del reto calórico y la tolerancia térmica ambiental en los búfalos indica que aunque estos animales pueden adaptarse, ocurren alteraciones respiratorias para mantener el balance calórico sostenido en la zona endógena de la normotermia (Alves et al., 2022).

Evolución del peso corporal según la edad y el sexo

El peso corporal y la tendencia del crecimiento en búfalos fueron diferentes entre las hembras y machos hasta los 36 meses ($P < .0001$); resultando la edad el factor de mayor contribución variativa (Tabla 3); lo cual, coincide con los reportes de Barrera et al., (2014). El proceso del crecimiento postnatal es la proyección ordenada por vía genética que tipifica la aditividad de la hiperplasia e hipertrofia de los tejidos, órganos y sistemas (Hocquette et al., 2009), el cual depende de la disponibilidad de nutrientes (Hocquette, 1998; NRC, 2021). Los factores nutricionales son esenciales en la estructuración, el funcionamiento del complejo pluricelular y la biogénesis somática bajo la regulación endocrina del metabolismo durante el crecimiento (Hocquette, 2010).

En los bóvidos, el calostro representa la fuente primaria para proveer anticuerpos maternos y la leche que suministra los nutrientes al lactante en complemento con las reservas corporales adquiridas durante la vida intrauterina (Hafez, 1972; NRC, 2001). La producción de leche influye sobre el crecimiento del bucerro por su alto valor energético, protéico y mineral; mientras que evolucionan el sistema digestivo y metabólico hacia un rumiante (Wang et al., 2020).

Tabla 3. *Análisis de varianza para el peso corporal según el sexo y la edad en búfalos de la raza Buffalypso hasta los treinta y seis meses.*

Fuentes de variación	GL	SC Tipo III	Cuadrado Medio	Valor F	P > F
Sexo (A)	1	127080.626	127080.626	42.78	<.0001
Grupos por Edad (B)	5	6633898.341	326779.000	446.67	<.0001
A*B	5	151907.991	30381.598	10.23	<.0001
Residuo	134	398033.885	2970.402		
Total	145	7341201.486			

GL (Grados de libertad), SC (Suma de Cuadrados) F (Índice de Fisher calculado)

Los pesos de los machos a los 6, 12, 18, 24, 30 y 36 meses fueron 133.36, 207.75, 263.54, 306.63, 341.56 y 373.77 kg; y en las hembras fueron 123.38, 176.45, 213.65, 248.12, 294.84 y 368.53 kg (Tabla 4). El peso de los machos fue superior en 14.21% a las hembras en +9.98, +31.30, +49.90, +58.51, +46.72, +5.44 kg entre los seis y treinta y seis meses, pero las hembras compensaron con una alta ganancia de peso en los últimos seis meses.

Este patrón de peso y crecimiento guardó un paralelismo con la tendencia del patrón en la raza Buffalypso, pero de inferior magnitud. El peso corporal fue menor a los hallazgos de Echeverri *et al.*, (2014); quienes reportaron pesos al destete, 12, 24, 30 y 36 meses de 160.36, 206.90, 333.71 y 435.70 kg; mientras que Fundora *et al.*, (2006) reportó en los machos a 12, 24 y 36 meses un peso de 225.89, 447.24 y 668.61 kg y en las hembras 176.45, 376.49 y 498.05 kg. Ambos reportes fueron superiores a los 36 meses en + 61.9 y +294.8 kg en los machos y +129.9 kg en las hembras en comparación con los resultados de la región Atlántica de Panamá.

El menor peso encontrado sugiere que el potencial nutricional de los forrajes fue insuficiente para proveer los nutrientes requeridos para el desarrollo muscular, esquelético y orgánico entre los 12 y 36 meses; sin embargo, las hembras mostraron un incremento de peso marcado entre los 30 y 36 meses en estrecha relación con la influencia de la gestación y del perfil hormonal luteal y placentario sobre la ganancia de peso (Senger, 1997; Barrera *et al.*, 2014). La raza Buffalypso posee un menor tamaño corporal y metabólico en comparación con las razas Jaffarabadi, Murrah y Nili-Ravi (Fonseca, 2016).

El consumo de alimento depende del peso corporal y metabólico, sexo, edad, salud y estado fisiológico (NRC, 2001). El mismo está representado por el consumo de materia seca en los búfalos que es de 2.20 a 3.15% del peso vivo; alcanzando entre 8.8 y 12.6 kg de materia seca por día o sean 22.0 a 31.5 g de materia seca/kg de peso corporal (Kelimeler, 2010).

Patrón del crecimiento y desarrollo corporal

La tendencia del peso corporal en los primeros 36 meses fue polinomial sigmoidea en ambos sexos; siendo los machos más pesados que las hembras (Gráfica 1 y 2); alcanzando 373.8 y 368.5 kg (Tabla 4). Mientras que Echeverri *et al.*, (2014) reportaron 435.70 kg y Fundora *et al.*, 668.53 kg en los machos y 498.05 kg en las hembras. Las diferencias en los pesos encontrados pueden atribuirse a factores alimentarios, nutricionales, sanitarios, microclimáticos y de manejo. La adultez somática del búfalo se alcanza a los 55 meses de edad (Méndez, *et al.*, 2015). Las hembras y machos presentaron diferencias en la evolución del crecimiento entre los 18 a 24 meses. La pendiente del crecimiento en los machos fue 0.6438 y en las hembras fue 0.5624 con un diferencial de 14.4% (Gráficas 1 y 2).

Tabla 4. Evolución del peso corporal promedio en búfalos de la raza Buffalypso según el sexo en los primeros 36 meses de vida en Ganadera Atlántico en Bocas del Toro.

Edad meses	Peso machos kg	Peso hembras kg	Edad meses	Peso machos kg	Peso hembras kg	Edad meses	Peso machos kg	Peso hembras kg
1	52.94	55.40	13	218.20	183.52	25	312.73	254.62
2	70.46	71.08	14	228.19	190.03	26	318.77	261.60
3	87.21	85.63	15	237.71	196.20	27	324.62	269.05
4	103.23	99.10	16	246.79	202.12	28	330.33	277.05
5	118.53	111.58	17	255.46	206.03	29	335.92	285.65
6	133.14	123.13	18	263.73	213.43	30	341.42	294.93
7	147.08	133.82	19	271.63	218.97	31	346.85	304.95
8	160.39	143.71	20	279.20	224.50	32	352.24	315.78
9	173.08	152.78	21	286.44	230.11	33	357.60	327.49
10	185.19	161.35	22	293.39	235.86	34	362.97	340.13
11	196.73	169.25	23	300.17	241.82	35	368.36	353.80
12	207.72	176.61	24	306.52	248.05	36	373.81	368.53

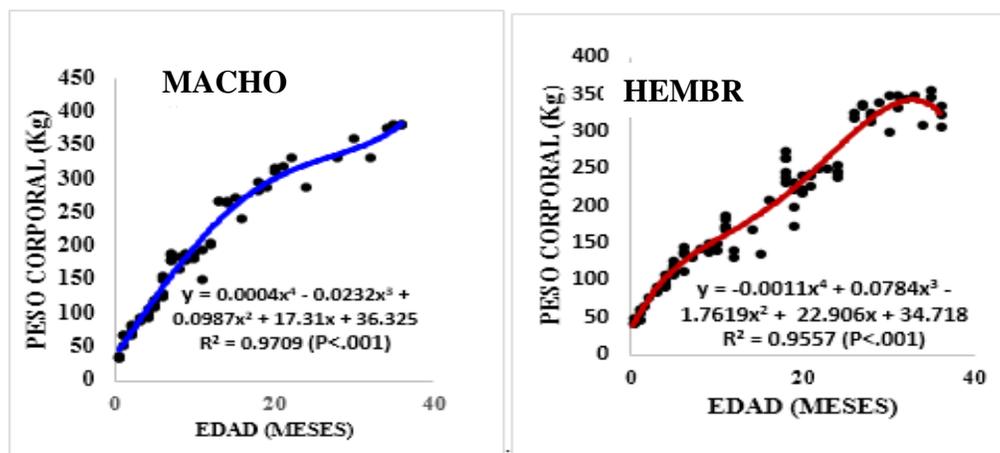


Figura 1 y 2. Tendencia del crecimiento y desarrollo según el peso corporal en búfalos y búfalas de la raza Buffalypso en los primeros 36 meses del ciclo de vida.

La tendencia del peso corporal durante los primeros 36 meses de vida por contraste logarítmico natural y polinómico tuvo un crecimiento normal en los primeros ocho meses de vida, pero subnormal entre los 9 y 24 meses; con una ligera respuesta compensatoria entre los 24 y 36 meses para los machos, pero sin alcanzar los valores óptimos del peso corporal y la ganancia de peso ideal. La tendencia del peso fue subnormal en los machos y hembras entre los 8 y 24 meses con un crecimiento compensatorio marcado entre los 24 y 36 meses; alcanzándose la mayor aproximación según los sexos entre los 30 a 36 meses.

Ganancia de peso sectorial en búfalos y búfalas

El incremento somático en los machos fue superior a las hembras en los primeros meses de vida como lactantes; alcanzando .554 kg/día en los primeros 88 días de vida; mientras que en las

hembras fue .530 kg/día ($p>.05$). La influencia del calostro materno para el lactante determina la inmunidad pasiva y el crecimiento temprano de los rumiantes (Quigly y Drewry, 1998; López y Heinrichs, 2022). La leche constituye la fuente primaria de nutrientes para los mamíferos; ya que la secreción láctea satisface los requerimientos nutricionales para el mantenimiento y para el crecimiento del bucerro por su contenido de grasa (7.64%), lactosa (4.83%), proteína (4.36%) y sólidos totales (17.96%) según Patiño (2011); así como por el contenido energético fisiológico de 1.055 kcal/kg (NRC, 2021).

La mayor tasa de ganancia de peso en bucerros es reportada para los modelos de crianza natural con búfalas lecheras en comparación con el sistema de cría con madres de bajo potencial lechero, acompañado de la separación materna (Boonbrahm et al., 2004). Este resultado no es deseable en las separaciones madre — hijo, ya que los bucerros son lentos para adaptarse al manejo como lactante en ausencia de la madre (Singh et al., 2019).

La tasa de ganancia de peso sectorial en los machos y hembras disminuyó gradualmente desde la etapa de lactante hasta los tres años de edad (Tabla 5). La leche de búfala beneficia el crecimiento y desarrollo de los animales jóvenes por el aporte de grasa (76.4 g/kg), lactosa (48.3 g/kg), proteína (43.6 g/kg) y minerales (10 g/kg) según (Patiño, 2011). La ganancia sectorial del peso ha sido utilizada en el ganado *Bos taurus* de las razas lecheras; facilitando la tipificación de la eficiencia en el crecimiento en los primeros 24 meses de vida (Araúz, 2017). La tendencia del crecimiento sectorial en machos y hembras fue diferente; resultando los machos lactantes con el mayor incremento somático; coincidiendo con los hallazgos en las crías de búfalas lecheras (Bosilli et al., 2020).

Tabla 5. Ganancia de peso sectorial ajustado por el peso al nacimiento en machos y hembras de la raza *Buffalypso* en 36 meses de vida.

Peso corporal y ganancia somática en los búfalos				Peso corporal y ganancia somática en las búfalas			
Edad (días)	Peso Sin Ajuste (kg)	Ganancia de Peso Ajustado (kg)	Ganancia Sectorial Ajustada (kg/día)	Edad (días)	Peso Sin Ajuste (kg)	Ganancia de Peso Ajustado (kg)	Ganancia Sectorial (kg/día)
88	83.92	+47.92	0.544a	104	91.17	+55.17	0.530a
239	169.19	+85.27	0.565a	303	156.03	+64.86	0.326b
366	203.67	+34.48	0.271a	365	184.16	+28.13	0.453b
652	277.60	+73.93	0.258a	735	238.14	+53.98	0.146b
756	321.15	+43.55	0.419a	832	283.50	+45.36	0.468a
1080	372.86	+51.71	0.160a	1023	333.40	+49.90	0.261b

Peso al nacer (36 ± 3.2 kg, 146 nacimientos) según bioregistros de ganadera Atlántico.

Ganancias sectoriales entre sexos con letras ab difiere al 1% ($P<.01$) y aa no difieren al 5% ($P>.05$).

Indicadores dimensionales del perfil simétrico durante el crecimiento

Las dimensiones corporales en el búfalo son utilizadas de igual forma que en ganado bovino; no obstante, la morfometría del búfalo plantea diferencias en el área de la grupa, estatura a la cruz, anca, cabeza y en las extremidades (Echeverry, 2006). La estatura corporal y el largo de la cabeza

no fueron diferentes entre los sexos ($P>.05$), pero si el ancho de la cadera según el sexo y la categoría por edad ($P<.03$). Las hembras evolucionaron con una mayor amplitud pélvica, como se patroniza en las especies cuadrúpedas para cumplir con la gestación (Senger, 1997) y el parto (Purohit et al., 2012). La amplitud de los hombros también fue diferente entre los machos y las hembras entre los 12 y 36 meses de edad (Tabla 6). El sexo no fue un factor influyente en la estatura a la cruz, ancho y largo de cabeza y amplitud entre hombros ($P>.05$); con ligeras diferencias en el perímetro torácico, longitud corporal y altura a la grupa entre los machos y hembras.

Las mayores dimensiones corporales en los machos obedecieron a su mayor capacidad de conversión alimenticia y al mayor crecimiento en comparación con las hembras (Crudeli y Konrad, 2013). Los machos presentaron las mayores dimensiones músculo esqueléticas y orgánicas; pero sin evidenciar una diferencia estadísticas ($p>.05$) según la tipificación anatómica, morfométrica y metabólica sobre las búfalas (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. *Análisis de varianza para los parámetros dimensionales en la raza Buffalypso.*

Parámetro Dimensional Corporal	Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado Medio	F calculada y significancia	Coefficiente de Variación (%)
Altura a la cruz (cm)	Sexo	145	2.992	0.05 ns	17.22
Largo de cabeza (cm)	Sexo	145	2.956	0.18 ns	23.62
Ancho de cabeza (cm)	Sexo	145	3.424	0.09 ns	24.06
Ancho de hombro (cm)	Sexo	145	7.177	0.31 ns	22.61
Perímetro torácico (cm)	Sexo	145	1.714	0.01 ns	21.11
Longitud corporal (cm)	Sexo	145	0.587	0.01 ns	16.96
Altura de grupa (cm)	Sexo	145	0.259	0.01 ns	17.83

ns: No hay diferencias significativas al 5% entre los sexos ($p>.05$).

En los machos y hembras ocurre el crecimiento compensatorio en función de la influencia ambiental y del manejo; sin embargo, las hembras logran un desarrollo somático, urogenital y pélvico superior a medida que avanza la edad para la reproducción (Ossa, 2015; Ossa y Velázquez, 2015). La pelvis de la búfala presenta una mayor área y un canal de parto más amplio que la vaca como requerimientos fetales a la hora del parto (Purohit et al., 2012).

El perímetro torácico, el largo total corporal y la altura a la cruz en los búfalos no fueron diferentes entre las hembras y machos en los primeros 36 meses de vida ($P>.05$); aunque los machos fueron superiores en estos índices simétricos. Las diferencias morfométricas de varios indicadores según el sexo determinan cambios en la forma corporal que son modificadas durante el crecimiento y desarrollo hacia la adultez somática y reproductiva; destacando en las hembras la proyección pélvica y abdominal y en los machos la profundidad pectoral, el sector torácico y la longitud corporal. La estatura a la cruz resultó diferente entre las categorías por edad y peso corporal (Tabla 7); no obstante, entre ambos sexos no se detectó una diferencia estadística ($P>.05$); la cual correspondió en los machos a 118.2 cm y en las hembras 95.5 cm. Entre los 6 y 24 meses, la estatura a la cruz fue de 101.3 cm y 128.5 cm en los machos y de 100.3 y 124.5 cm en las hembras (Tabla 7 y 8).

El conglomerado morfosimétrico del Buffalypso es descrito por varios índices dimensionales hasta los 36 meses; tomando en cuenta que las mismas son próximas al estado adulto, ya que la adultez del búfalo se alcanza a los 55 meses de edad (Pérez, 2007).

Tabla 7. *Estatura a la cruz promedio ajustada por edad en machos y hembras Buffalypso en la región Atlántica en Bocas del Toro.*

Edad (Meses)	Búfalos (cm)	Búfalas (cm)
6	101.3	100.3
12	116.5	113.3
18	124.0	120.1
24	128.5	124.5
30	134.6	130.1
36	146.9	138.3

Tabla 8. *Características somáticas y dimensionales ajustadas en búfalos y búfalas de la raza Buffalypso a los 36 meses de edad.*

Indicador Biológico	Expresión	Machos	Hembras	EEM
Peso Corporal	kg	372.85	333.40	31.17
Estatura a la cruz	cm	139.95	132.59	7.64
Largo de la cabeza	cm	64.26	57.15	4.02
Ancho de la cadera	cm	87.88	78.23	6.06
Ancho entre hombros	cm	66.55	63.25	4.85
Largo cráneo – isquiático	cm	207.77	193.68	11.35
Perímetro torácico	cm	169.42	155.19	10.71
Estatura a la grupa	cm	147.83	142.11	8.13

EEM (Error estándar de las medias para los sexos; Machos: 61 y Hembras: 85)

Correlaciones del peso con los indicadores simétricos corporales

El perfil simétrico o dimensional en búfalos y búfalas estuvo correlacionado positivamente con el peso corporal y la edad ($P < .0001$); como descriptores del biotipo morfométrico y somático en los primeros tres años de vida. El perímetro torácico en ambos sexos se correlacionó con la estatura, ancho de la cadera, amplitud de los hombros y longitud cráneo – isquiática entre 0.89 y 0.98 ($P < .0001$). El peso corporal en los machos mostró la mayor correlación con la amplitud de la cadera y el perímetro torácico; mientras que en las hembras, la correlación sobresaliente fue entre la estatura a la cruz y la edad. Las correlaciones entre el peso y las dimensiones corporales coinciden con los reportes de Pérez (2007) y Crudeli y Konrad, (2013); indicando que el incremento del peso va acompañado de los cambios en el perfil simétrico corporal multidimensional y sistémico. Sin embargo, las condiciones de la alimentación y la calidad del forraje y las demás plantas nativas surten un efecto determinante en la contribución nutricional y en la evolución del crecimiento y desarrollo en el Búfalo de Agua debido a la naturaleza de las áreas empleadas para la producción bufalina (Fundora et al., 2015; Alves y Franzolin, 2015; Álvarez et al., 2021).

CONCLUSIONES

El sexo y la edad influyeron en las características somatométricas y en la evolución del crecimiento de los búfalos Buffalypso bajo las condiciones del medio tropical húmedo; por lo que deberá tomarse en cuenta ambas condiciones como fuentes de variación en los estudios para caracterizar la biología del crecimiento, el desarrollo y el comportamiento fisiológico bajo una alimentación fundamentada en forraje exclusivo.

La evolución del peso corporal y las dimensiones mostraron un crecimiento sigmoideal polinómico en los búfalos y búfalas de la raza Buffalypso con una ganancia sectorial homogénea en la fase de lactante, pero a su vez con episodios irregulares de disminución y aumentos compensatorios a partir del destete hasta los 36 meses de vida.

El crecimiento y desarrollo de los búfalos de la raza Buffalypso en el sistema ganadero en pastoreo con pasto Tanner fueron inferiores al patrón somático de la raza; lo que sustenta la necesidad de implementar mejoras técnicas en nutrición, alimentación, salud y manejo mediante un programa estratégico integral para el trópico húmedo en las condiciones de Panamá.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES Y COAUTORES

EEAS, JYV: Conceptualización y diseño del estudio, metodología e implementación experimental, formulación de la matriz de datos, análisis estadístico e interpretación, revisión de literatura, orientación del artículo, toma de datos, logística con la empresa ganadera Atlántico S. A. y la gerencia y gestión de los recursos, redacción, ajustes y correcciones finales.

JRB, ASC, JINA, MLV: Revisión científica del manuscrito, adecuaciones contextuales, estilo y mejoramiento del contenido en su perfil científico y aportes bibliográficos.

ADJCC: Aporte en el contexto biológico del búfalo y su ciclo de vida, manejo y enfoque biotécnico para la producción bufalina tropical y mejoramiento integral del manuscrito.

DECLARACION DE INTERESES

Los autores **EDIL E. ARAÚZ¹** Y **JOSUE Y. VANEGAS²** y los coautores **JOSE RAMÓN BINNS³**, **ALEX SOLIS C.⁴**, **ALIRIO DE JESUS COLMENARES C.⁵**, **JOSE I. NORATO A.⁶**, Y **MILBA L. VERGARA⁷** declaramos que no tenemos conflicto de intereses en el estudio ni en el artículo científico presentado.

AGRADECIMIENTO

Los autores y coautores agradecemos al Sr Enrique Athanasiadis y Familia, Gerente General del Grupo Athanasiadis en la Provincia de Chiriquí y a la Empresa Ganadera Atlántico S. A. por contribuir y financiar parcialmente esta investigación y brindar el apoyo logístico pertinente.

REFERENCIAS

- Almengor, P. Y. (2007). El búfalo, una opción de la ganadería. REDVET Rev. Electron <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807>
- Álvarez Macías, A., Aldo Bertoni, Daniel Mota Rojas y José Luis Dávalos. (2021). El sistema de producción doble propósito del búfalo de agua en México. BMeditores. <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/el-sistema-de-produccion-doble-proposito-en-bufalos-de-agua-en-mexico/>
- Alves T. C. y Franzolin R. (2015). Growth curve of buffalo grazing on a grass pasture. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000900003>
- Alves, V. R., Lourenco de B. J., Jacintho Ch. A. M., Correa, B. V. A., Hanner M., Chaves O. C. M., and Garcia R. A. (2022). Dynamics of Thermolysis and Skin Microstructure in Water Buffaloes Reared in Humid Tropical Climate. A Microscopic and Thermographic Study. Front. Vet. Sci., 25 May 2022 Sec. Animal Behavior and Welfare. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.87120>
- Amorin, A., Hipólito, V., & Tonhati, B. E. (1999). Hipólit Melhoramento genético dos Búbalinos. Simposio paulista de bubalinocultura.
- Angulo, R. (2005). Características de la calidad de las canales bufalinas y vacunas Comercializadas en Medellín, Colombia. Grupo de estudio sobre búfalos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. , p. 5.
- Araúz, E. (2010). Principales registros biológicos para evaluar la capacidad funcional de la Vaca lechera y su importancia para mejorar el manejo y la eficiencia en la producción lechera. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/foros/principale>
- Araúz, E. E., A. G. Fuentes y N. Méndez. (2010). Alteración diurna de la carga calórica corporal e interrelación de las temperaturas rectal y láctea en vacas cruzadas (6/8 Bos taurus x 2/8 Bos indicus), Pardo Suizo y Holstein bajo estrés calórico diurno durante la época seca en el clima tropical húmedo. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504 2010 Volumen 11 Número 11 <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111110/111002.pdf> 1 <https://www.researchgate.net/publication/47727732>
- Araúz, E. E., E. E. Araúz y J. Norato. (2017). Perfil del desarrollo corporal en novillas Holstein y Pardo Suizo en Panamá y estrategias para cuidar el potencial lechero y el bienestar animal en el clima tropical. <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/perfil-desarrollo-corporal-novillas-t40534.htm>
- Association of Official Analytical Chemists, 2010. Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists. 18th Edition, AOAC International, Washington DC. <https://www.scirp.org/%28S%28lz5mqp453edsnp55rrgjt55%29%29/reference/reference-spapers.aspx?referenceid=2400880>

- Barrea, D. C., S. Pineda, D. A. Agudelo, M. J. Mazo y M. F. Cerón-Muñoz. (2014). Descripción de la curva de crecimiento en búfalos (*Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae*) mediante modelos aditivos mixtos generalizados con suavizaciones. *Livestock Research for Rural Development* 26 (8) 2014. <http://www.lrrd.org/lrrd26/8/cont2608.htm>
- Barros, D. V. et al. (2016). Assessment of surface temperatures of buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) raised under tropical conditions using infrared thermography. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.68, p.422-430, 2016. Doi: 10.1590/1678-4162-8327.
- Barros, D. V. et al. (2021). Evaluation of thermal comfort, physiological, hematological, and seminal features of buffalo bulls in an artificial insemination station in a tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, v.47, p.805-813, 2015. Doi: 10.1007/s11250-015-0792-9.
- Bavera, G., Bocco, O., & Beguet, H. y. (2005). Crecimiento, desarrollo y precocidad. Obtenido de Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. : <http://www.produccion-animal.com.ar/>
- Bennett, S. P., G. W. Garcia, P. Lampkin. (2007). The Buffalypso: the water buffalo of Trinidad and Tobago. *Ital. J. Anim. Sci.* Vol. 6, (Suppl. 2), 179-183, 2007. https://www.researchgate.net/publication/41394258_The_buffalypso_The_water_buffalo_of_Trinidad_and_Tobago/fulltext/5689e65408ae1e63f1f90a3f/The-buffalypso-The-water-buffalo-of-Trinidad-and-Tobago.pdf
- Bertoni Aldo, Adolfo Álvarez-Macías, José Luis Dávalos-Flores y Daniel Mota-Rojas. (2020). Productividad de los búfalos de agua y sus expectativas de desarrollo en zonas tropicales Aldo. En: *El Búfalo de Agua en Latinoamérica*.
- Boonbrahm, N., Peters, K. J. and Intisang, W. (2004). The influence of calf rearing methods and milking methods on performance traits of crossbred dairy cattle in Thailand. *Milk yield and udder health. Arch. Tierz. Dummerstorf.* 47:211-224.
- Bosilli, C., M. Marchi, A. Costa and A. Borghese. (2020). Study of milk ability and its relationship with milk yield and somatic cell in Mediterranean Italian water buffalo. *Frontiers in veterinary science*, <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00432> Original Research. August, 2020.
- Climatic Data. (2022). Climatological data. www.dataclimate.org.
<https://es.climate-data.org/america-del-norte/panama/provincia-de-bocas-del-toro/bocas-del-toro-21380/>
- Crudeli, G. A. (2013). Evaluación del crecimiento en hembras y machos bubalinos en Argentina. *Rev. Bras. Reprod. Anim.*, Belo Horizonte v.37, n.2, p.115-120.
- Debbarma D., Uppal V., and Gupta A. (2018). Histomorphological study on regional distribution of hair follicles in buffalo sin. *Indian Vet J.* (2018) 95:36-40. Doi: 10.1155/2018/5345390

- Dikmen S. and P. J. Hansen. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92:109–116 doi:10.3168/jds.2008-1370.
- Echeverry, J. (2006.). Bufalometría de butoretas, en la Hacienda la Suiza, de propiedad el Fondo Ganadero del Centro, localizado en el Magdalena medio antioqueño. . Facultad de Ciencias Veterinarias, UNNE, Corrientes.pe.
- Etesa (2018-2020). El clima y el tiempo promedio anual en Bocas Del Toro. <https://es.weatherspark.com/y/16751/Clima-promedio-en-Bocas-del-Toro-Panam%C3%A1-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Fitzhugh, J. (1976). Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *J Anim Sci*, 42:1036-1051.
- Fonseca, P., (2016). Conozca las razas de Búfalos que existen en Colombia. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-las-razas-de-bufalos-que-existen-en-colombia>
- Fundora, O. T. (2006). Curva de crecimiento y peso vivo de un rebaño de búfalos de río. *Revista cubana de ciencias agrícola.*, tomo 40.
- Fundora, O. (2015). Comportamiento de búfalos de agua (*Bubalus bubalis*) de la raza Buffalypso en sistemas de alimentación basados en pastoreo: quince años de investigaciones en el Instituto de Ciencia Animal O. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 49, Número 2, 2015. 161. Fundora Instituto de Ciencia Animal, Cuba Correo electrónico: ofundora@ica.co.cu. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193039698005.pdf>
- Geotsy, países y Territorios. (2022). Bocas del Toro, Panamá, Tiempo y Clima. <https://geotsy.com/es/panama/bocas-del-toro-97548/tiempo-y-clima>
- Hafez, E. S. (1972). *Desarrollo y Nutrición Animal*. Ed. Acribia. 472 Pag. Editorial Acribia, España.
- Hocquette J. F, Ortigues-Marty I, Pethick D. W, Herpin P and Fernandez X (1998). Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. *Livestock Production Science* 56, 115–143
- Experimentos pecuarios. Programa SAS. Escuela de Postgraduados de Chapingo, México.
- Hocquette, J. F. (2010). Endocrine regulation of muscle growth and body composition in
- Kantharaja, K. A. (2018.). Early Growth Performance Comparison of Weaned and Suckling
- Murrah Buffalo Calves under Institutional Situations. Division of Livestock Production Management, Indian Veterinary Research.

- Kelimeler A. M. (2010). Energy and nutrient requirements of buffaloes.
- Kocatepe Vet J (2010) 3 (2): 55-64
- Kratochvílová, M. H. (2002). Growth curve analysis in cattle from early maturity and mature body size viewpoints. Czech J. Anim. Sci. 47: 125.
- Lopez, A. J. and A. J. Heinrichs. (2022). Invited Review: The importance of colostrum to the new born dairy calf. J. Dairy Science 105:2733–2749. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030298758369>
- Méndez, M., Fraga, L., García, Y., Rodríguez, L., & Mora., G. (2015). Estimación de la curva de crecimiento en machos bubalinos en una empresa cubana. Instituto de Ciencia Animal., San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba.
- NRC, 2001, 2021. Nutrient requirements of dairy cattle. Washington State, USA.
- Ossa, P. A. (2015). Relación del tamaño corporal de búfalas con parámetros productivos en la bufalera Riomanso. Universidad de la Salle, Colombia. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1220&context=zootecnia>
- Owens, F. N., P. Dubeski, and C. F. Hansont. 1993. Factors that Alter the Growth and Development of Ruminants. Departments of Animal Science and +Nutritional Science, Oklahoma State University, Stillwater 74078. J. Anim. Sci., 71:3138-3150. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8270538/>
- Patiño, E. M. (2011). Producción y calidad de la leche bufalina Tecnología en Marcha, Vol. 24, N.º 5, Revista Especial 2011, P. 25-35. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835762.pdf>
- Purohit, G. N., P. Kumar, K. Solanki, Ch. Shekher y S. P. Yadav. (2012). Perspectives of Fetal Dystocia in Cattle and Buffalo. Veterinary Science Development, DOI: 10.4081/vsd.2012.e8
- Quigley, III, J. D. and J. J. Drewry. (1998). Nutrient and Immunity Transfer from Cow to Calf Pre- and Postcalving Tennessee Agricultural Experiment Station, Department of Animal Science, University of Tennessee, Knoxville 37901-1071. J. Dairy Sci 81:2779–2790 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030298758369>
- SAS. 2004. Analysis of variance and adjustments. En: Guía del programa SAS.
- Senger, P. (1997). Pathways to pregnancy and parturition. Washington State University. United States of America.
- Singh, P. K., M. L. Kamboj, S. Chandra, A. Kumar and N. Kumar. (2019). Influence of weaning on growth, health and behavior of buffalo (*Bubalus bubalis*) calves. Indian J. Anim. Res., 53(5) 2019: 680-684 Print ISSN: 0367-6722 / Online ISSN: 0976-0555

Vale, W., & Lourenzo, J. (2002). Proceedings of the IST Buffalo Symposium of Americas.

PRODEPA do Governo do Estado do Pará. Belén, Brazil. 613 pp.

Wang, Qiyang, Xiaomei Gao, Yunyan Yang, Caixia Zou, Yingbai Yang y Bo Lin. (2020). A comparative study on rumen ecology of water buffalo and cattle calves under similar feeding regime. *Vet Med Sci.* 2020; 6:746–754.

Wikipedia.(2022). Clasificación climática de Köppen. <https://es-cademic.com/dic.nsf/eswiki/270242>

Herrera, J. E. H. y Barreras, A. S. 2001. Manual de procedimiento: análisis estadísticos de Ruminants • R. Bras. Zootec. 44 (09) •Citado 01/08/2022.

vet.<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet> Vol. VIII, N° 8, Agosto/2007–

Cattle. *Animal* (2010), 4:11, pp 1797–1809 & the Animal Consortium 2010. Doi: 10.1017/S1751731110001448

DINÁMICA DE LA FERMENTACIÓN RUMINAL *IN VITRO* DE LA MEZCLA INTEGRAL DE CAMOTE (*IPOMOEA BATATA*, L.) PRESECADA Y ENSILADA

DYNAMICS OF THE *IN VITRO* RUMINAL FERMENTATION OF THE INTEGRAL MIXTURE OF PRE-DRIED AND ENSEILED SWEET POTATO (*IPOMOEA BATATA*, L.)

Carlos Solís G.*. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. carlos.solis@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0003-2472-556X>

Manuel H. Ruiloba. Grupo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (GRCITED). Panamá. mruiloba15@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-5195-4566>

Rafael Rodríguez. Instituto de Ciencia Animal. Depto. de Rumiantes. Cuba. rrodriguez@ica.co.cu. <https://orcid.org/0000-0001-8254-7509>

Yoandra Marrero. Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB). Cuba. ymarrero@ica.co.cu. <http://orcid.org/0000-0001-6213-5857>

Niurka González. Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (CENPALAB). Cuba. <https://orcid.org/0000-0003-3415-6241>

*Correo de Correspondencia: carlos.solis@up.ac.pa

Recibido: 03/04/2022

Aceptado: 21/03/2023

RESUMEN. Con la técnica de producción de gas se evaluó la dinámica fermentativa *in vitro* de la mezcla integral de camote pre secada (CPS) y ensilada (ECI) respecto al grano de maíz molido (GMM), como referencia energética (3.2 Mcal/kgMS), y un tiempo de incubación de 72 horas. El proceso de ensilaje (45 días, relación 2:1 tubérculo:follaje, base seca) no afectó apreciablemente la composición química (MO, FDA, PB, PV, almidón total), excepto la FDN, la cual disminuyó. En el periodo de incubación de 2 a 4 horas la producción acumulada de gas (PAGiv, mLg-1MOinc) no presentó diferencia entre tratamientos; en el periodo de 4 a 12 horas la PAGiv aumentó rápidamente, pero con un mayor incremento con CPS y sin diferencia entre GMM y ECI; a partir de las 12 hasta las 72 horas la PAGiv fue similar para CPS y GMM y menor para ECI. El tiempo de colonización o hidratación del sustrato (fase lag) presentó valores de 2.53, 2.61 y 3.03 horas para CPS, ECI y GMM, respectivamente. En cuanto a los parámetros de Gompertz, GMM presentó la mayor producción potencial de gas (348.90 seguida por CPS y ECI; CPS logró la mayor velocidad promedio de producción de gas, seguida por ECI y GMM. El parámetro C indicó una mayor síntesis de biomasa microbiana para las mezclas integrales de camote. Se concluyó que el proceso de ensilaje afectó la producción acumulada de gas, que esta fue mayor para GMM pero las mezclas de camote presentaron mayor velocidad promedio de producción de gas y síntesis de masa microbiana.

PALABRAS CLAVE: producción acumulada de gas *in vitro*, dinámica fermentativa, tiempo de incubación, parámetros de Gompertz, velocidad de producción de gas.

ABSTRACT. With the gas production technique, the *in vitro* fermentative dynamics of the integral mixture of pre-dried sweet potato (CPS) and ensiled (ECI) was evaluated with respect to the ground corn grain (GMM), as an energy reference, and an incubation time of 72 hours. The silage process did not appreciably affect the chemical composition, except for NDF, which decreased. In the incubation period from 2 to 4 hours, the accumulated gas production (PAGiv, mLg-1MOinc) did not present a difference between treatments, in the period from 4 to 12 hours the PAGiv increased rapidly, but with a greater increase with CPS and without difference between GMM and ECI; from 12 to 72 hours the PAGiv was similar for CPS and GMM and lower for ECI. The colonization or hydration time of the substrate (lag phase) presented values of 2.53, 2.61 and 3.03 hours for CPS, ECI and GMM, respectively. Regarding the Gompertz parameters, GMM presented the highest potential gas production (348.90), followed by CPS and ECI; CPS obtained the highest average gas production rate, followed by ECI and GMM. Parameter C indicated a greater synthesis of microbial biomass for the integral mixtures of sweet potato. It was concluded that the silage process affected the accumulated gas production, which was greater for GMM, but the sweet potato mixtures presented a higher average rate of gas production and synthesis of microbial mass.

KEYWORDS: cumulative *in vitro* gas production, fermentative dynamics, incubation time, Gompertz parameters, gas production rate.

INTRODUCCIÓN

El camote o boniato (*I. batata L.*) ha sido estudiado en la alimentación bovina de carne (Backer *et al.*, 1980, Ruíz *et al.*, 1981) y leche (Massey *et al.*, 1976, Quezada 2001) como alternativa al uso de las fuentes tradicionales. Más recientemente, estudios de Solís y Ruiloba (2017) y Ruiloba *et al.*, (2021) indicaron que tanto el ensilado integral (tubérculo + follaje) como el tubérculo fresco de camote presentaron capacidad competitiva frente al grano de maíz en términos de producción y costos en bovinos de carne. Estos autores atribuyeron dichas respuestas productivas al desempeño fermentativo ruminal de sus componentes energéticos y a una fracción apreciable de almidón sobrepasante a las partes bajas del tracto gastrointestinal, lo que mejoró su eficiencia de utilización.

Con la técnica de producción de gas *in vitro* se han realizado estudios fermentativos ruminales de sustitución del grano de maíz molido por ensilado integral de camote en dietas para bovinos de carne (Solís *et al.*, 2019, Solís *et al.*, 2020, Solís *et al.*, 2021), destacándose una mayor producción acumulada de gas y degradabilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y fibra detergente neutra (FDN) en la medida que aumenta el nivel de ensilado integral de camote, variables que contribuyen a caracterizar el comportamiento del alimento a nivel ruminal.

En este sentido, el presente trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la dinámica fermentativa *in vitro* de la mezcla integral de camote pre secada y ensilada, comparativamente con el grano de maíz molido como material de referencia energética.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras para este estudio fueron tomadas de una parcela de camote comercial ubicada en Perales, Los Santos, Panamá. El estudio *in vitro* se llevó a cabo en la Unidad Central de Laboratorios (UCELAB), perteneciente al Instituto de Ciencia Animal de Cuba, en base a un diseño de bloques al azar, con cuatro réplicas en el tiempo o bloques. Cada replica estuvo constituida por los siguientes tratamientos (TRT): grano de maíz molido (GMM) (comercial), mezcla integral de camote pre seca (CPS) y mezcla integral de camote ensilada (ECI). Para la mezcla integral se utilizó el cultivar (CIP-440046-14, clon con alta cobertura de suelo), en una relación 2:1 tubérculo:follaje, base seca, la que se pre secó durante 24 horas y luego se trituraron con una picadora estacionaria. De esta mezcla se tomaron 10 muestras de 1.0 kg cada una: cinco constituyeron el material pre-seco (CPS) y cinco fueron ensiladas por 45 días en microsilos plásticos de 1.0 kg de capacidad, sellados herméticamente, las que constituyeron el material ensilado (ECI).

Para estudiar la dinámica fermentativa se utilizó la técnica *in vitro* de producción de gas descrita por Theodorou *et al.*, (1994). En botellas de 100 mL se incubó 1.0 g de sustrato de cada material (tamaño de partícula, 1.0 mm) en el medio de cultivo descrito por Menke y Steingass (1988) y un inóculo de microorganismos ruminales en proporción de 20% del volumen total de incubación (80 mL). Se utilizó como inóculo el contenido ruminal de dos vacas canuladas en el rumen, alimentadas a voluntad con forraje de gramíneas, agua, sales minerales y 2.0 kg día⁻¹ de concentrado. El líquido ruminal de cada animal se recolectó antes de su alimentación en la mañana, se conservó y trasladó individualmente en termos herméticamente cerrados hasta el laboratorio donde inmediatamente se filtró a través de varias capas de gasa; seguidamente, ambos inóculos se

mezclaron para obtener una muestra representativa del mismo. Durante el proceso de filtrado y mezclado los inóculos se mantuvieron a 39°C y en condiciones anaeróbicas mediante flujo continuo de CO₂. Se utilizaron cuatro réplicas en el tiempo, tres tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento, 10 tiempos de incubación y cuatro blancos (botellas de vidrio de 100 mL con 64 mL de medio de incubación y 16 mL de líquido ruminal pero sin sustrato), para un total de 480 mediciones. Las muestras se colocaron en dos baño maría a 39°C sin agitación. A todas las botellas se les tomó la presión de gas en los respectivos tiempos y solo se abrieron al final del experimento.

La producción de gas *in vitro* (PAGiv) se midió con un manómetro HD8804 acoplado al calibrador de presión TP804 (DELTA OHM, Italia). La producción acumulada de gas *in vitro* (PAGiv) se midió a las 2, 4, 6, 9, 12, 16, 24, 36, 48 y 72 horas de incubación (T). Para simplificar los análisis estadísticos, la fermentación *in vitro* se dividió en dos fases en función de las velocidades de fermentación esperadas. La primera fase (Fase inicial) abarcó los primeros cinco tiempos de incubación (2, 4, 6, 9 y 12 horas), mientras que la segunda fase (Fase final) incluyó los últimos cinco (15, 24, 36, 48 y 72 horas). Después de cada medición se liberó el gas hasta igualar la presión externa e interna de las botellas (presión en Pascales [Pa]).

Los datos de presión se transformaron en volumen de gas mediante la ecuación de regresión lineal descrita por Rodríguez *et al.*, (2013):

$$\text{Gas (mL)} = (\text{presión [10}^3\text{Pa]} + 4.95) / 2.5858 \quad [n= 132; R^2= 0.98]$$

Para la cinética de producción de gas se utilizó el modelo de Gompertz:

$$Y = A * \text{Exp} (-B * \text{Exp} (-C * t))$$

donde **Y** es la producción de gas al tiempo *t* [mL g⁻¹ MO incubada (MOinc)], **A** el potencial de producción de gas (asíntota cuando *t* = ∞; mL g⁻¹ MOinc), **B** la velocidad promedio de producción de gas (mL g⁻¹ MOinc h⁻¹), **C** el factor constante relacionado con la eficiencia microbiana (h⁻¹) y **t** el tiempo de incubación (h). Los parámetros cinéticos se estimaron con el programa Infostat (Di-Rienzo *et al.*, 2012).

El tiempo de incubación al que se alcanzó la velocidad máxima (T_{Vmáx}) de producción de gas se estimó a partir de la segunda derivada del modelo de Gompertz, evaluada en cero, punto de inflexión de este modelo sigmoidal. La velocidad máxima de producción de gas (V_{máx}, mLg⁻¹ MOinc h⁻¹) se estimó al sustituir la T_{Vmáx} (h⁻¹) en la primera derivada del modelo de Gompertz.

El tiempo de colonización o hidratación del sustrato, hora, (fase lag) se estimó a partir de la ecuación propuesta por Casas *et al.*, (2010);

$$\text{Fase lag} = [\ln(\text{parámetro B}) - 1] / \text{parámetro C},$$

basada en los parámetros de Gompertz, en donde ln es el logaritmo neperiano.

La PAGiv de los tratamientos (GMM, CPS y ECI), como medida repetida en la misma unidad experimental, se analizó con la metodología descrita por Gómez *et al.*, (2019), que primero contempla el cumplimiento de los supuestos de normalidad para el análisis de varianza mediante la dócima de Shapiro y Wilk (1965) y el análisis de correlación de Pearson. Frente a un

incumplimiento del supuesto de normalidad, se utilizó un Modelo Lineal Generalizado Mixto ($\text{mL g}^{-1} \text{MOinc h}^{-1}$, mililitros de gas por gramo de MO incubada por hora) mediante el empleo del procedimiento GLIMMIX del SAS (SAS 2010). Dentro del modelo se consideró como efecto aleatorio las réplicas (bloques) y como efectos fijos los tratamientos, tiempos de incubación e interacción tratamiento por tiempo de incubación (TRT*T). Para conocer la distribución con que se ajustaron los datos se probaron las distribuciones Poisson, logaritmo (Log) normal, Gamma e Igauss; siendo la Gamma la de mejor ajuste y Log la función de enlace.

La MS, MO y PB se determinaron mediante la metodología descrita por Latimer (2016), la fibra detergente neutra y ácida (FDN y FDA) según Goering y VanSoest (1970), proteína verdadera (PV) por el método de Bernstein (1983) y el almidón total (AL) con el kit K-TSTA-50A / KTSTA-100A 17/06 (Megazyme 2017), adoptado por la AOAC (Método oficial 996.11) y AACC (Método 76-13.01).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química de los tratamientos evaluados (tabla 1) presentó diferencias importantes entre el grano de maíz y las mezclas integrales de camote, en especial en el contenido de fibra, PB y almidón. Los valores obtenidos para el grano de maíz son muy similares a los obtenidos por otros autores (Méndez *et al.* 2005, Martínez *et al.* 2016, Marta *et al.* 2017, DeBlas *et al.* 2019). El proceso de ensilaje disminuyó el contenido de MO, producto de la actividad metabólica microbiana y posible pérdida en los efluentes. En cambio ocurrió una disminución del 13.2% en el contenido de FDN del ensilado, lo que indica que esta fibra puede ser muy degradable a nivel ruminal. Prácticamente no hubo efecto sobre el contenido de PB; sin embargo, el contenido de PV aumentó en un 6.4% en el material ensilado, lo que pudo implicar que parte del N no proteico fue transformado a PV por las bacterias.

Tabla 1. Composición química de los tratamientos evaluados.

Componentes	Tratamientos		
	GMM	CPS	ECI
MS	87.60	29.10	30.10
	% de la MS		
MO	98.60	91.60	90.60
FDN	6.72	33.40	29.00
FDA	3.6	18.40	17.00
PB	9.94	5.87	5.98
PV	----	4.70	5.00
AL	66.1	45.67	44.3

En la tabla 2 se muestra el comportamiento de la PAGiv. La interacción TRT*T afectó la PAGiv ($p < 0.01$) como consecuencia de cambios en el patrón de producción y tasa de producción de gas a partir de las 15 horas de incubación, en especial con GMM y ECI. En las primeras 2 horas de incubación se obtuvo una producción acumulada promedio de $5.49 \text{ mLg}^{-1} \text{MOinc}$, lo que indicó un proceso de colonización y actividad fermentativa relativamente rápida, proceso que requiere disponibilidad de carbohidratos de fácil utilización microbiana como los azúcares (Marrero *et al.*, (2007). En el periodo de 2 a 4 horas de incubación no hubo diferencia en la producción acumulada

de gas entre tratamientos con un promedio para el periodo de 13.30 mLg⁻¹MOinc, respuesta relacionada con la disponibilidad de azúcares y almidones solubles en los tres productos. El contenido promedio de azúcares del GMM es bajo, 1.0 a 2.0%, base seca (Martínez *et al.*, 2016, DeBlas *et al.*, 2019); en cambio las mezclas integrales de camote dispusieron de mayores niveles de azúcares (tabla 1), aportados por la fracción tubérculo que constituyó el 66.7% de la mezcla y cuyo contenido de estos disacáridos es alta (8.3 a 31.6%, Aliaga y Nieto 2009), principalmente sacarosa (Grüneberg *et al.*, 2015).

En el periodo de 4 a 15 horas la producción acumulada de gas aumentó rápidamente, con promedio para de 93.50 mLg⁻¹MOinc. El incremento en producción de gas fue mayor para CPS pero igual para GMM y ECI, situación que evidencia una mayor disponibilidad de azúcares y almidones solubles en el camote pre seco. Se asume que en este periodo el almidón del GMM empezó a ser liberado de la matriz proteica que lo protege, favoreciendo su producción de gas.

El GMM contiene niveles altos de almidón, 66.1% (Agama *et al.*, 2013, Corcuera *et al.*, 2016, DeBlas *et al.*, 2019, Solís 2020); sin embargo, este está rodeado por una matriz proteica que requiere ser hidrolizada por enzimas microbianas ruminales (Singh *et al.*, 2010), para que posteriormente el almidón sufra solubilización, degradación microbiana o pérdida en efluente. Este proceso requiere tiempo, lo que afecta su velocidad de degradación (Ramos 2016). A las 24 horas la producción acumulada de gas del GMM superó a la de ECI y a partir de las 36 horas resultó muy similar a la de CPS, lo que indicó que el almidón del GMM resultó liberado de la matriz que lo rodea. Con incubaciones *in vitro* hasta las 24 horas, Solís (2020) obtuvo mayor degradabilidad para el almidón del GMM que del CPS y ECI, con valores de 89.84, 86.43 y 82.90%, respectivamente, comportamiento del GMM que indicó liberación del almidón de la matriz proteica, pero también características físico- químicas propias del almidón favorables a su degradación.

Tabla 2. Efecto del sustrato y el tiempo de incubación en la producción acumulada de gas *in vitro* (mL g⁻¹ MOinc).

Tratamiento	Tiempo de incubación, horas (fase inicial)					p, EE
	2	4	6	9	12	
GMM	2.02 ^h (7.51)	3.01 ^g (20.27)	3.84 ^f (46.42)	4.59 ^d (98.95)	5.02 ^b (151.80)	p<0.01 ±0.03
CPS	1.48 ⁱ (4.38)	3.09 ^g (21.95)	4.05 ^e (57.20)	4.78 ^c (119.40)	5.17 ^a (176.75)	
ECI	1.52 ⁱ (4.59)	3.06 ^g (21.32)	4.04 ^e (56.88)	4.76 ^c (116.45)	5.13 ^a (168.98)	
Tratamiento	Tiempo de incubación, horas (fase final)					p, EE
	15	24	36	48	72	
GMM	5.31 ⁱ (203.20)	5.62 ^g (274.92)	5.73 ^d (308.80)	5.80 ^b (331.77)	5.87 ^a (353.29)	p<0.0001 ±0.015
CPS	5.41 ^h (223.43)	5.65 ^{ef} (285.24)	5.75 ^{cd} (313.87)	5.81 ^b (332.59)	5.86 ^a (349.41)	
ECI	5.34 ⁱ (207.98)	5.57 ^g (263.31)	5.67 ^e (289.89)	5.73 ^d (307.31)	5.78 ^{bc} (322.75)	

a, b, c, d,...: Medias con letras distintas según Tukey difieren para p<0.05; mL g⁻¹ MOinc: mililitros de gas por gramo de MO incubada; Valores en paréntesis: medias originales; Valores sin paréntesis: medias ajustadas; EE: Error Estándar de la media transformada.

A partir de las 12 hasta las 72 horas, la producción acumulada de gas presentó aumentos decrecientes, con un promedio de producción de $253.80 \text{ mLg}^{-1}\text{MOinc}$, igual producción para CPS y GMM y menor producción para ECI. Este comportamiento decreciente indicó disminución progresiva en la disponibilidad de las fuentes energéticas para la microbiota o limitaciones del propio sistema *in vitro* utilizado.

La PAGiv en función del tiempo de incubación se presenta en la figura 1, donde se evidencia un aumento decreciente, un efecto interactivo TRT*T y una menor producción de gas a partir de las 24 horas para ECI con respecto a los otros dos tratamientos. Basado en este comportamiento decreciente de la producción de gas, al comparar la respuesta de CPS y ECI se puede indicar que el proceso de ensilaje pudo disminuir la degradabilidad del almidón del camote, tal como informó LI Jian-nan *et al.*, (2014).

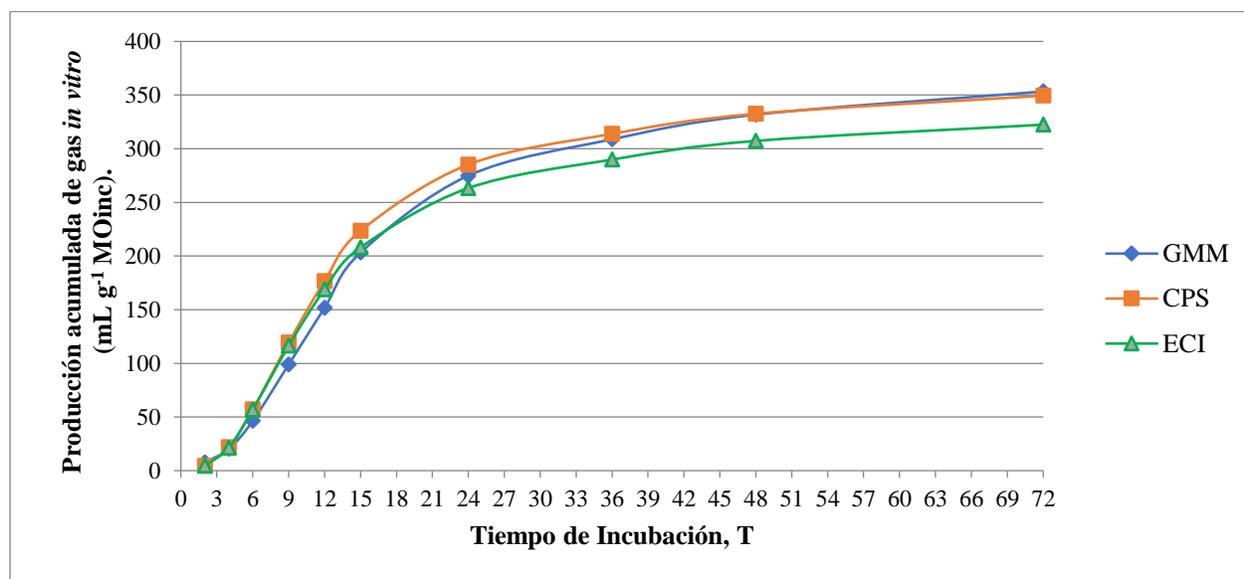


Figura 1. Producción acumulada de gas (PAGiv) en función de las horas de incubación (T).

Sin embargo, no se sabe en que forma, ya sea degradando parte de la fracción soluble de almidón, lo que disminuiría la proporción entre la fracción soluble y la más resistente a la degradación, pero también afectando alguna característica morfológica del grano, el arreglo espacial de la molécula, la relación amilosa-amilopectina u otro aspecto. Solís (2020) ha informado de pérdidas de almidón en el proceso de ensilaje de 11.0%, pero Martínez *et al.*, (2014) indicaron que en el proceso de ensilaje las bacterias utilizan los azúcares pero no los almidones.

Los parámetros cinéticos de producción de gas *in vitro* a partir del modelo de Gompertz mostraron un R^2 superior a 0.98 (tabla 3). El potencial de producción de gas (parámetro A) a las 72 horas resultó mayor para el GMM, seguido por CPS y ECI. En el material pre seco y ensilado, el menor valor de A pudo estar relacionado principalmente con un menor contenido de almidón, mayor contenido de FDN o menor degradabilidad del almidón.

Tabla 3. Parámetros cinéticos de la producción acumulada de gas de las mezclas integrales y el GMM, según modelo de Gompertz.

Tratamiento	Parámetro A (\pm EE) ⁽¹⁾	Parámetro B (\pm EE) ¹	Parámetro C (\pm EE) ¹	EE ⁽²⁾	R ²	V _{máx}	T _{Vmáx}
GMM	348.88 (\pm 2.59)	4.03 (\pm 0.17)	0.13 (\pm 0.004)	19.29	0.98	16.68	10.72
CPS	337.02 (\pm 2.24)	4.16 (\pm 0.18)	0.15 (\pm 0.004)	17.57	0.98	18.60	9.50
ECI	311.79 (\pm 2.21)	4.06 (\pm 0.18)	0.15 (\pm 0.004)	17.38	0.98	17.20	9.34

⁽¹⁾ Error estándar del parámetro; ⁽²⁾ Error estándar de la curva; Parámetro A: mL g⁻¹ MOinc; Parámetro B: mL h⁻¹; Parámetro C: h⁻¹; T_{Vmáx}: h⁻¹; V_{máx}: mL g⁻¹ MOinc h⁻¹

El tiempo de colonización o hidratación del sustrato (fase lag) fue de 2.53, 2.61 3.03 horas para CPS, ECI y GMM, respectivamente, lo que se relacionó con las velocidades que estos presentaron en la fase inicial de incubación. Con respecto a la velocidad de producción de gas, la mayor velocidad se obtuvo entre las 4 y 12 horas de incubación, producto de una mayor actividad microbiana, seguida por el periodo entre 0 y 4 horas, con la menor entre las 12 y 72 horas, con velocidad promedio por periodo de 17.3, 5.24 y 2.38 mL h⁻¹, respectivamente, comportamiento debido a la menor disponibilidad de carbohidratos de fácil degradabilidad. La velocidad promedio de producción de gas por tratamiento (parámetro B) resultó mayor para CPS y muy similar entre GMM y ECI, lo que indicó mayor actividad fermentativa con CPS, respuesta que se relacionó con su alto contenido de azúcares. La FDN de las mezclas de camote también pudo contribuir al aporte energético durante el proceso fermentativo, producto de su contenido y naturaleza. En dietas para bovinos con alto nivel de sustitución del GMM por ECI e incubación *in vitro* por 24 horas, Solís *et al.* (2021) obtuvieron incrementos en la degradabilidad de la FDN en la medida que aumentó el nivel de ECI. El parámetro C, una estimación de la capacidad de síntesis de masa microbiana, indicó que las mezclas integrales de camote lograron mayor síntesis, producto que estas propiciaron inicialmente un mayor crecimiento microbiano, comportamiento que favoreció la degradación del sustrato y crecimiento de la masa microbiana.

Las mezclas de camote presentaron mayor velocidad máxima de producción de gas (V_{máx}) y menor tiempo de incubación para lograr V_{máx}, comportamiento que de acuerdo con Rodríguez *et al.*, (2017) está relacionado con una mayor eficiencia microbiana (parámetro C). Por su parte, Getachew *et al.*, (2004) indicaron que la velocidad a la que los componentes químicos se fermentan es un reflejo del crecimiento de los microorganismos y su accesibilidad al sustrato fermentable. Bajo estas consideraciones, se plantea que la matriz proteica que envuelve y protege los gránulos de almidón del GMM afectó negativamente sus parámetros cinéticos.

La velocidad de producción de gas en función del tiempo de incubación (figura 2) muestra que este comportamiento depende de la naturaleza del sustrato. En este sentido, las mezclas integrales de camote presentaron mayores velocidades y alcanzaron la velocidad máxima en menor tiempo que el GMM, comportamiento que se relacionó con la naturaleza y composición del sustrato en términos de azúcares, almidones y calidad de la FDN, componentes que hicieron un rápido aporte de energía que favoreció la actividad microbiana. Por otra parte, el grano de maíz mostró menor

velocidad inicial pero mayor velocidad en la fase descendente de esta variable que las mezclas integrales de camote, comportamiento que se relaciona con la ruptura de su matriz proteica.

Resultados *in vivo* con dietas de sustitución hasta 100% del GMM por ECI (Solís y Ruiloba 2017) y por tubérculo de camote fresco (Ruiloba *et al.*, 2021) para crecimiento y engorde de bovinos machos indicaron igual respuesta en la ganancia de peso vivo entre tratamientos, comportamiento atribuido al sobrepaso ruminal de almidón, producto de su menor degradabilidad, pero también a un nivel adecuado de fermentación ruminal favorecido por los azúcares, fracción soluble de almidón y degradabilidad de la FDN aportada por el camote.

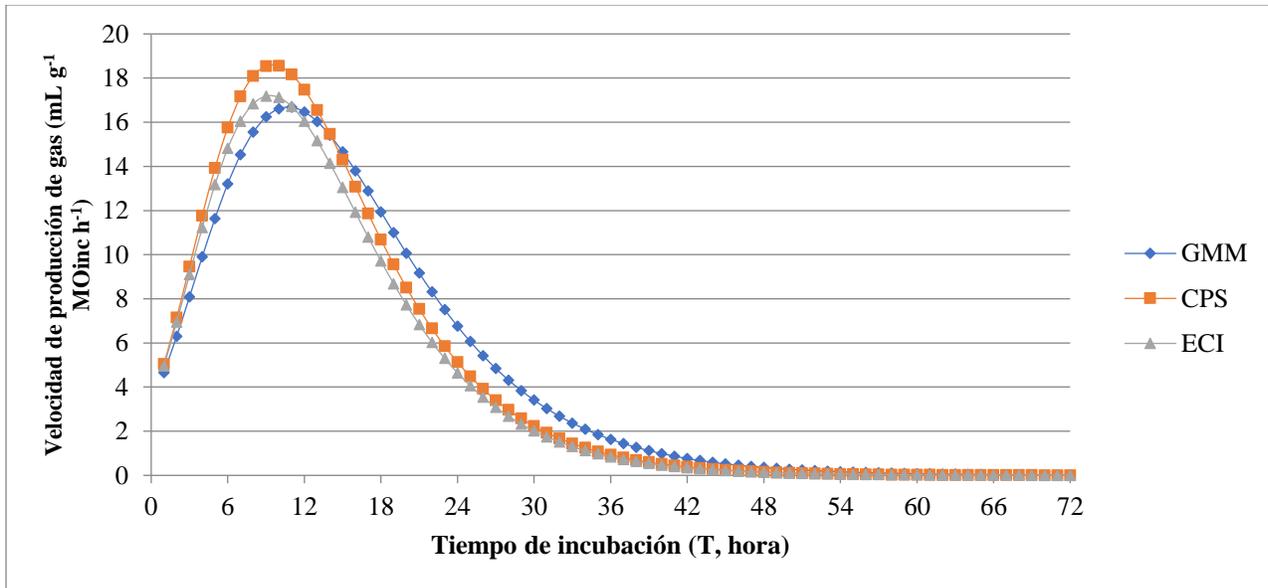


Figura 2. Velocidad de producción de gas ($\text{mL g}^{-1} \text{MOinc h}^{-1}$) de las mezclas integrales y el grano de maíz en función del tiempo de incubación.

Los resultados obtenidos en el presente estudio apoyan estas consideraciones debido a que las mezclas de camote presentaron menor producción potencial de gas que el GMM, en especial ECI. Sin embargo, estas mezclas presentaron mayor actividad fermentativa en la fase inicial, comportamiento relacionado con una rápida fermentación de azúcares y fracción soluble del almidón, actividad que ocurrió a un menor nivel en la fase posterior al $T_{V_{\max}}$. Estas mezclas presentaron en promedio solo el 93.3% de la producción acumulada potencial del GMM, pero el tiempo de estancia de los almidones y otros componentes de fácil fermentación en el rumen no es mayor de 24 horas (Herrera *et al.*, 1990), ya que los almidones de los cereales se degradan entre 80.0 y 95.0% en este periodo de tiempo. Se infiere que esta disminución en la actividad fermentativa de las mezclas de camote fue producto del agotamiento de los azúcares y disminución fermentativa de la fracción de almidón, lo que en condiciones *in vivo* posibilita su salida del rumen a las partes bajas del tracto gastrointestinal donde es absorbido como glucosa. De acuerdo con Owens *et al.* (1986), cuando el almidón es sobrepasante presenta mayor eficiencia de utilización intestinal (hasta 42.0% más) que cuando se fermenta en el rumen. Otro aspecto que apoya las respuestas productivas *in vivo* es el mayor crecimiento de la masa microbiana (parámetro C del modelo de Gompertz) que se obtuvo con las mezclas integrales de camote, comportamiento que favorece un mayor aprovechamiento de los sustratos consumidos por el animal.

CONCLUSIONES

- La mezcla integral de camote pre secada presentó un mejor comportamiento fermentativo en el tiempo que el grano de maíz y ensilaje integral de camote.
- La mezcla integral de camote pre secada presentó mayor producción acumulada de gas que la mezcla integral ensilada.
- Las mezclas integrales de camote presentaron mayor velocidad promedio de producción de gas pero menor producción acumulada de gas que el grano de maíz.

REFERENCIAS

- Agama, E., Juárez, E., Evangelista, S., Rosales, O. and Bello, L. (2013). Characteristics of maize starch and relationship with its biosynthesis enzymes, *Agrociencia*, 47, 1–12.
- Aliaga, P. y Nieto, C. (2009). Contenido de azúcares en raíces reservantes de 106 clones de camote (*Ipomoea batatas* (L .) Lam .) de la colección de germoplasma, *Anales científicos UNALM*, 70(2), 1–10.
- Backer, J., Ruíz, M. and Pinchinat, A. (1980). The use of sweet potato (*Ipomoea batatas*, (L) Lam) in animal feeding II, *Trop Anim Prod*, 5(2), 152–160.
- Bernstein, J. (1983). *Análisis de alimento*. Tomo 1. Edited by A. L. Wintra and K. B. Winto. Pueblo y Educacion.
- Casas, G.A., Rodríguez, D. y Téllez, G.A., 2010. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3).
- Corcuera, V., Salmoral, E., Pennisi, M., Kandus, M. y Salerno, J. (2016). Análisis composicional cuanti-cualitativo de los macronutrientes del grano de híbridos de maíz con valor mejorado (VEC) desarrollados para la industria alimentaria argentina, *UNLZ*, 3(2), 37–51.
- DeBlas, C., García, P., Gorrachategui, M. y Mateos, G. (2019). *Maíz Nacional. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*. Cuarta Edi, FEDNA. Cuarta Edi. Edited by FEDNA. Madrid, España.
- Di-Rienzo, A., Casanoves, F., Balzarini, G., González, L., Tablada, M. and Robledo, W. (2012). Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available at: <http://www.infostat.com.ar>.
- Getachew, G., Robinson, P. H., Depeters, E. J. y Taylor, S. J. (2004). Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds, *Animal Feed Science and Technology*, 111, 57–71.
- Goering, H. K. and VanSoest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures)*. Agricultur. Edited by USDA. Washington, D.C.

- Gómez, S., Torres, V., Medina, Y., Rodríguez, Y., Sardiñas, Y., Herrera, M. y Rodríguez, R. (2019). Application of the linear mixed and generalized mixed model as alternatives for analysis in experiments with repeated measures, *Cuban Journal of Agricultural Science*, 53(1), 7–12.
- Grüneberg, W. J., Ma, D., Mwangi, R. O. M., Carey, E. E., Huamani, K., Diaz, F., Eyzaguirre, R., Guaf, E., Jusuf, M., Karuniawan, A., Tjintokohadi, K., Song, Y., Anil, S., Hossain, M., Rahaman, E., Attaluri, S., Somé, K., Afauape, S., Adofo, K., Lukonge, E., Karanja, L., Ndirigwe, J., Ssemakula, G., Agili, S., Randrianaivoarivony, J., Chiona, M., Chipungu, F., Laurie, S., Ricardo, J., Andrade, M., Rausch, F., Mello, A., Khan, M., Labonte, D. y Yenchó, G. (2015). Advances in Sweetpotato Breeding from 1992 to 2012, in Al., J. L. et (ed.) *Potato and Sweetpotato in Africa: Transforming the Value Chains for Food and Nutrition Security*, 3–68.
- Herrera, R., Gomez, R., Torabi, M., and Huber, J. (1990). Influence of Synchronizing Protein and Starch Degradation in the Rumen on Nutrient Utilization and Microbial Protein Synthesis. *Journal of Dairy Science*, 73, 142–148. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78657-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78657-2).
- Latimer, G. W. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International*. 20th edn. Rockville, MD: AOAC International.
- Marrero, Y., Rodríguez, D., Galindo, J., Aldama, A., Moreira, O. y Noda, A. (2007). Población microbiana ruminal e indicadores fermentativos en bovinos que consumen caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y concentrado, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(2), 148–156.
- Marta, H., Suryadi, E. y Ruswandi, D. (2017). Chemical Composition and Genetics of Indonesian Maize Hybrids, *American Journal of Food Technology*, 12(2), 116–123.
- Martínez, A., Argamentería, A. y De-La Rosa, B. (2014). *Manejo de forrajes para ensilar*. Edited by SÉRIDA. Asturias, España.
- Martínez, M., Palacios, I. y Medina, H. (2016). Composición química del grano de maíz (*Zea mays*) Chococito del Municipio de Quibdó, Colombia, *Revista Investigación Agraria y Ambiental*, 7:1.
- Massey, Z. A., Denney, W. W. y Southwell, B. L. (1976). Sweet potato meal in the ration for dairy cows.’, *Georgia Experimental Station, Circular 1*, 4.
- Megazyme (2017). Total starch assay procedure (amyloglucosidase/ α -amylase method). Ireland: Megazyme.
- Méndez, G., Solorza, J., Velázquez, M., Gómez, N., Paredes, O. y Bello, L. (2005). Chemical composition and calorimetric characterization of hybrids and varieties of maize cultivated in México, *Agrociencia*, 39(3), 267–274.
- Menke, K. and Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical

- analysis and in vitro gas production using rumen fluid', *Animal Research and Development*, 28, 7–55.
- Owens, F., Zinn, R. and Kim, Y. (1986). Limits to starch digestion in the ruminant small intestine.', *Journal of animal science*, 63(5), 1634–1648.
- Quezada, E. (2001). Evaluación nutricional del ensilado de follaje y raíces de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) en la alimentación de vacas lecheras. M.Sc. Thesis. UNALM.
- Ramos, E. (2016). Producción, densidad y disponibilidad in vitro del almidón de maíz y sorgo a varias velocidades de rolado al vapor. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rodríguez, R., Borges, E., Gutiérrez, D., Elías, A., Gómez, S. y Moreira, O. (2017). Evaluación de la inclusión de *Moringa oleifera* en el valor nutritivo de ensilajes de *Cenchrus purpureum* cv. Cuba CT-169', *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(4), 447–457.
- Rodríguez, R., Lores, J., Gutiérrez, D., Ramírez, A., Gómez, S., Elías, A., Aldana, A. I., Moreira, O., Sarduy, L. y Jay, O. (2013). Inclusión del aditivo microbiano Vitafert en la fermentación ruminal in vitro de una dieta para cabras, *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 47(2).
- Ruiloba, M. H., Maure, J. y Solís, C. (2021). Evaluation of the productive response of male cattle to the substitution of corn grain by different levels of fresh sweet potato tuber (*Ipomoea batatas* L.) in a fattening diet, *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(4), 381–389.
- Ruíz, M., Lozano, E. y Ruíz, A. (1981). Utilization of sweet potatoes (*Ipomoea batata* (L.) Lam) in animal feeding III. Addition of various levels of roots and urea to sweet potato forage silages, *Trop Anim Prod*, 6(3), 234–244.
- SAS (2010). User's guide: Statistics. Version 9.3. Cary, N.C., USA. SAS Institute.
- Shapiro, S. and Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples), *Biometrika*, 52(3–4), 591–611.
- Singh, J., Dartois, A. y Kaur, L. (2010). Starch digestibility in food matrix: a review, *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 21(4), 168–180.
- Solís, C. (2020) Obtención y evaluación nutricional del ensilado integral de camote presecado (*Ipomoea batata*, L.) como sustituto energético del grano de maíz (*Zea mays*) en dietas para vacunos en crecimiento. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Agraria de la Habana - Fructuoso Rodríguez. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba.
- Solís, C., Rodríguez, R., Marrero, Y., Moreira, O., Medina, Y., González, N. y Ruiloba, M. H. (2021). Efecto del ensilado integral de camote (*Ipomoea batata*) como sustituto del grano de maíz en la producción de gas in vitro y otros indicadores de la fermentación ruminal, *Livestock Research for Rural Development*, 33(2, Art. #20).

- Solís, C., Rodríguez, R., Marrero, Y., Moreira, O., Sarduy, L. y Ruiloba, M. H. (2020). Changes in the in vitro ruminal fermentation dynamics of diets for cattle , based on corn grains and different levels of sweet potato (Ipomoea batatas , L .) integral silage, Cuban Journal of Agricultural Science, 54(1), 10.
- Solís, C. y Ruiloba, M. H. (2017). Evaluation of different levels of integral silage of sweet potato (Ipomoea batatas) as energetic source for growing cattle, Cuban Journal of Agricultural Science, 51(1), 35–46.
- Theodorou, M. K., Williams, B. A., Dhanoa, M. S., McAllan, A. B. y France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds, Animal Feed Science and Technology., 48(3–4), 185–197.

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA MARÍA

EVALUATION OF THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE SANTA MARÍA RIVER BASIN

*Efraín Oses**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá. efrainsaul1598@gmail.com

*Xavier Navarro**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Panamá. xaviernavarro1998@gmail.com

José Villarreal. Instituto de Innovación Agropecuaria (IDIAP). Panamá. jevilla38@gmail.com

Iván Ramos. Instituto de Innovación Agropecuaria (IDIAP). Panamá. iarz1103@gmail.com

*Correo de Correspondencia: efrainsaul1598@gmail.com, xaviernavarro1998@gmail.com

Recibido: 05/09/2022

Aceptado: 11/05/2023

RESUMEN. Este trabajo tiene como finalidad evaluar la concentración de metales pesados en la Cuenca del Río Santa María, ubicada en la provincia de Herrera, Coclé y Veraguas, República de Panamá en las diferentes partes de la cuenca, alta, media y baja en la época seca (2021). Se tomaron 40 muestras en fincas de 30 productores, 29 de sedimentos y 7 de agroquímicos (Herbicidas, fungicidas, insecticidas y fertilizantes). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelos del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Divisa. Se caracterizaron todas las muestras en general y se determinaron los niveles de los metales utilizando la metodología EPA 3051A. Para el análisis estadístico se utilizó el programa INFOSAT. Se realizó el análisis de regresión, de varianza y el multivariado de componentes principales. Las muestras de suelos no registraron contaminación por metales pesados, a diferencia de los sedimentos que registraron contaminación por Cu con valores que van de 50 mg/kg a 90 mg/kg y de Ni con un valor límite de 56 mg/kg. Para los agroquímicos se utilizó la referencia de Colmer y Sánchez (2000) obteniéndose valores por encima de los permisibles en el fungicida que reportó 78 mg/kg de Zn. Para los fertilizantes se utilizaron las referencias de Alloway (1995) y Kabatas y Pendias (1984) resultando valores superiores a los permisibles en la urea que registró 17,43 mg/kg de Cu, 291,50 mg/kg de Zn y 37,95 mg/kg de Ni y el abono 12-24-12 que reportó 265 mg/kg de Zn y 68 mg/kg de Ni. El análisis de varianza determinó que existen diferencias significativas.

PALABRAS CLAVE: antropogénico, biodisponibilidad, movilidad, agroquímico, contaminación, suelo, sedimento, cobre, níquel, zinc, cadmio y plomo.

ABSTRACT. The incidence of the purpose of this work is to evaluate the concentration of heavy metals in the Santa Maria River Basin, located in the province of Herrera, Cocle and Veraguas, Republic of Panama in the different parts of the basin, high, medium and low in the dry season (2021). Forty samples were taken from farms of 30 producers, 29 of sediments and 7 of agrochemicals (herbicides, fungicides, insecticides and fertilizers). The samples were analyzed at the soil laboratory of Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Divisa. All samples were characterized in general and metal levels were determined using EPA 3051A methodology. The INFOSAT program was used for statistical analysis. Regression analysis, analysis of variance and multivariate principal component analysis were performed. The soil samples did not show heavy metal contamination, unlike the sediments, which showed contamination by Cu with values ranging from 50 mg/kg to 90 mg/kg and Ni with a limit value of 56 mg/kg. For agrochemicals, the reference of Colmer and Sanchez (2000) was used, obtaining values above the permissible values for the fungicide, which reported 78 mg/kg of Zn. For fertilizers, the references of Alloway (1995) and Kabatas and Pendias (1984) were used, resulting in values above the permissible values for urea, which registered 17.43 mg/kg Cu, 291.50 mg/kg Zn and 37.95 mg/kg Ni, and the fertilizer 12-24-12, which reported 265 mg/kg Zn and 68 mg/kg Ni. The analysis of variance determined that there were significant differences.

KEYWORDS: anthropogenic, bioavailability, mobility, agrochemical, contamination, soil, sediment, copper, nickel, zinc, cadmium and lead.

INTRODUCCIÓN

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tienen un peso específico superior a $4,0 \text{ g/cm}^3$ y peso atómico comprendido entre $55,85 \text{ g/mol}$ y $200,59 \text{ g/mol}$, siendo tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen: mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Lucho *et al.* 2005).

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente (Singh *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2013).

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica; ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino *et al.* 2002).

La movilidad de un metal depende de una serie de parámetros del suelo tales como: pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, entre otros. Así, no todos los cationes de cambio están igualmente disponibles, al contrario, depende del mineral o minerales de los que están formando parte como complejo de cambio (González *et al.* 2008).

A nivel nacional se han realizado algunos estudios relacionados a la determinación de metales pesados en diferentes lugares, donde se realizan actividades agropecuarias e industriales cercanas a la zona. En la provincia de Chiriquí, Espinosa *et al.* (1987), determinaron la concentración de residuos cúpricos y de metales pesados en suelos agrícolas de Barú asociados con la producción de banano, encontrando niveles de cobre (Cu) superiores a 1000 mg/kg , limitando la siembra de hortalizas y granos en estos suelos. Igualmente, Espinosa (1990), durante el desarrollo de su tesis doctoral en suelos dedicados al cultivo de banano y palma aceitera en Barú, encontró elevados valores totales de Zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), en el suelo, asociándolo con el uso de fungicidas. También alta concentración de plomo (Pb), proveniente de la gasolina y sobre todo altos niveles de níquel (Ni).

Santo *et al.* (2019), determinaron los metales pesados en la cuenca N° 128 del Río La Villa de las provincias de Herrera y Los Santos en la cuenca alta, media y baja de actividad agrícola y ganadera durante los meses de octubre (época lluviosa) 2016 y marzo (época seca) 2017. Se tomaron datos al azar en toda la cuenca en varias fincas donde se colectaron muestras en los principales cultivos, leche, heces de bovino y productos fitosanitarios (herbicidas y fungicidas) dentro de la zona. Las muestras de cultivos colectadas presentaron altos valores de Cu, Cr, Cd, As. En el agua había altas concentraciones de Cd, Cr, Mn, Zn y Pb. En leche muestreada los resultados arrojaron altas concentraciones de Arsénico en la cuenca media y baja. En los productos fitosanitarios como herbicidas y fungicidas los valores de Cu, Zn, Ni y Cr sobrepasaron los límites permitidos (USEPA 1993).

Debido a esta problemática, se realizó el presente estudio con el fin de recolectar información de carácter ambiental sobre la cuenca del río Santa María y contribuir al diagnóstico y por consiguiente, a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental, que sean de ayuda a especialistas para resolver problemas de contaminación, lo que beneficiará a los productores y consumidores de productos agrícolas y pecuarios. El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos y agroquímicos de zonas de importancia en la producción agropecuaria en la Cuenca del Río Santa María en la provincia de Herrera, Coclé y Veraguas (Panamá).

El estudio se realizó en la Cuenca del Río Santa María, identificada como la N° 132 en el sistema hidrológico de América Central. Se ubica en la vertiente del Pacífico en las provincias de Veraguas, Coclé y Herrera (8°05'25"N 80°29'01"O). El área de drenaje total de la cuenca es de 3,079.38 km² y la longitud del río principal es de 173.0 kilómetros.

La elevación media de la cuenca es de 200 msnm, y el punto más alto se encuentra en la Cordillera Central con una elevación de 1,528 msnm.

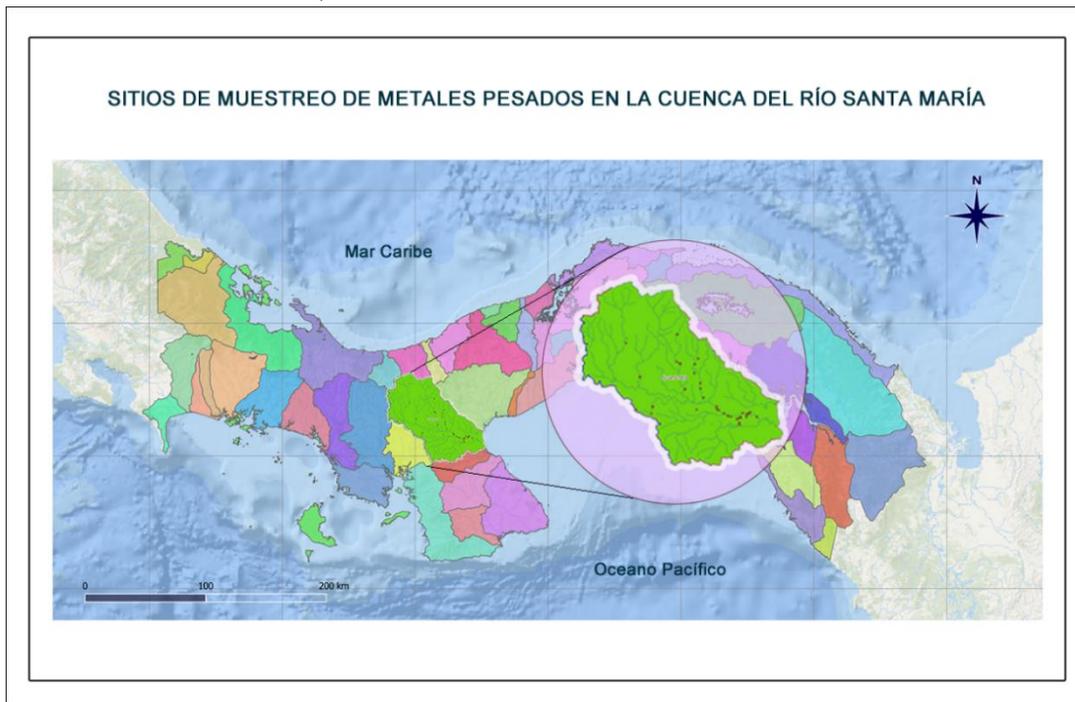


Figura 1. *Ubicación de la Cuenca del Río Santa María.*

El trabajo consistió en tomar muestras de suelo, sedimentos y agroquímicos en dicha cuenca, utilizando un muestreo al azar en el campo buscando la mayor homogeneidad y representatividad del área de estudio. En cada punto muestreado se tomaron las coordenadas para su localización, utilizando el programa Fields area Measure PRO que permite la ubicación exacta de cada sitio.

El muestreo de suelo se hizo en base a la metodología SEMARNAT (2010), para suelos contaminados, la cual consistía en tomar un área de la finca a muestrear, preferentemente rectangular de aproximadamente 10 x 30 metros, luego al realizar la toma de muestras se utilizó

el método sistemático o de rejilla que consiste en seleccionar puntos de muestreos a distancias uniformes en zig zag, diagonal o cuadrícula (Mason 1992), tomando un total de sub muestras de 10 a 15 con una profundidad de 0-30 cm, obteniendo una muestra compuesta homogénea. Se tomaron muestras en áreas de producción agropecuaria intensiva y a la vez, en áreas de poca o nula actividad agrícola y pecuaria, para su posterior comparación. (Ver figura 2)

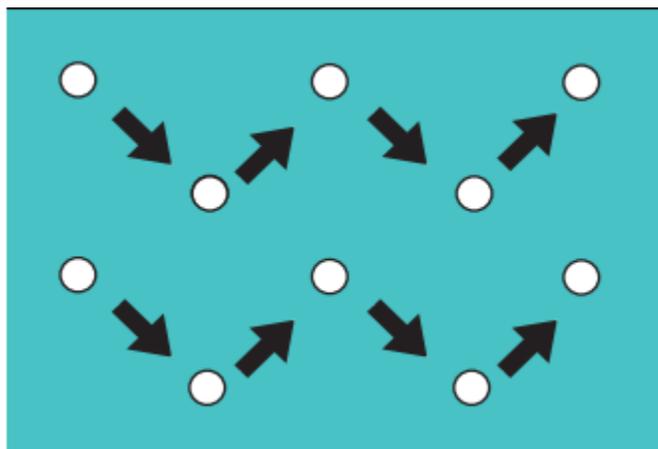


Figura 2. Muestreo en zigzag para suelos contaminados según SEMARNAT, 2010.

En el muestreo de sedimento se tomaron cuatro sub-muestras superficiales a 15 cm de profundidad, en cada sitio se tomó sus respectivas coordenadas, a la ribera del río en un radio de tres metros, obteniendo una única muestra compuesta. Posteriormente, fueron llevadas y procesadas en el laboratorio de Fertilidad de Suelos del IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá).

El muestreo de fertilizante y agroquímicos se basó en una encuesta realizada a los productores de la cuenca, seleccionando los productos más utilizados y con mayor frecuencia para sus respectivos análisis en el laboratorio. En la tabla 1 se observan los productos seleccionados para la investigación y que son comúnmente utilizados por los productores de la zona de la Cuenca del Río Santa María.

Tabla 1. Productos seleccionados para los análisis en el laboratorio.

Fertilizantes	
Nombre comercial	Formulas
Abono completo	12-24-12
Urea	46 %
Agroquímicos	
Nombre comercial	Ingrediente activo
Glifopro	Glifosato
AGROQUAT 20 sl	Gramoxone
Terrano	Aminopyralid y 2,4-D
Arrivo 20 ec	Cipermetrina
Panomil 72 sc	Benzonitrilo Halogenado, Chlorothalonil

Los metales pesados que se evaluaron en esta investigación en muestras de suelo, sedimentos, fertilizantes y plaguicidas, fueron el Cd(cadmio), Cu(cobre), Ni(níquel), Pb(plomo), y Zn(zinc), por ser algunos de los más importantes y estar mayormente asociados a la acción antropogénica.

Para determinar las concentraciones de metales pesados en suelo, sedimentos y fertilizantes se utilizó el método EPA 3051A el cual consiste en preparar una solución con 0.50g de muestra con ácido nítrico y clorhídrico (Agua regia), para posteriormente tomar las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama con fuente continua. Mientras en los plaguicidas se utilizó el método de la plancha caliente (Villarreal, 2018). Las muestras fueron envasadas y almacenadas una nevera para conservarlas hasta realizarle los análisis. Del total de muestras, se procesaron 40 muestras de suelos, 29 de sedimentos y 7 de agroquímicos.

Para evaluar las concentraciones de los metales pesados en las muestras se utilizó la norma US EPA (1993), y valores de referencias según Aguilar *et al.*, (1999), mientras en agroquímicos se utilizaron tablas de referencias según Alloway (1995), Kabatas - Pendias y Pendias (1984) y Colmer y Sánchez (2000).

Para realizar el análisis estadístico en esta investigación se utilizó el programa InfoStat para evaluar las concentraciones de metales pesados con las variables estudiadas. Se realizaron análisis de regresión, varianza y el multivariado para ver las relaciones entre las concentraciones de metales pesados y propiedades físico-químicas (Materia orgánica, pH, textura, minerales, entre otros), de las variables estudiadas (suelos, sedimentos y agroquímicos).

En la Tabla 2 se presenta la información de las muestras de suelos y en la Tabla 3 la información de las muestras de sedimentos. En ambas se dan las coordenadas geográficas y la cuenca la que pertenecen.

Tabla 2. Ubicación geográfica del muestreo de suelos en la cuenca del Río Santa María.

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
Gatú 1	8.273297	-81.00194	Parte Alta
Gatú 2	8.273258	-81.00105	Parte Alta
Santa Fe	8.400035	-81.05308	Parte Alta
La Yeguada	8.431504	-80.86117	Parte Alta
Guías Arriba	8.231462	-80.77418	Parte Media
La Botijuela	8.250994	-80.7747	Parte Media
El Puente	8.322959	-80.84992	Parte Media
La Corocita	8.32153	-80.79545	Parte Media
La Raya 1	8.229121	-80.83313	Parte Media
La Raya 2	8.228351	-80.83236	Parte Media
Los Limones 1	8.342507	-80.78273	Parte Media
Los Limones 2	8.341488	-80.78298	Parte Media
Anón 1	8.1378979	-80.95792	Parte Media
Guías Abajo	8.197989	-80.76336	Parte Media
Anón 2	8.1642311	-80.95365	Parte Media
Anón 3	8.1624758	-80.95357	Parte Media
Anón 4	8.1623095	-80.954	Parte Media

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
Capellanía 1	8.325056	-80.85143	Parte Media
Capellanía 2	8.325131	-80.85194	Parte Media
El Bajo	8.330043	-80.86345	Parte Media
Las Tetas	8.288465	-80.79701	Parte Media
Arrozal 1	8.118105	-80.63658	Parte Baja
Arrozal 2	8.118529	-80.637448	Parte Baja
Santa Rita	8.123541	-80.62347	Parte Baja
La Ciénega	8.125266	-80.56341	Parte Baja
Santa María 1	8.10476	-80.62865	Parte Baja
Santa María 2	8.103747	-80.6288	Parte Baja
Cañazas 1	8.151123	-80.70695	Parte Baja
Cañazas 2	8.15165	-80.70746	Parte Baja
El Rincón	8.121736	-80.3577	Parte Baja
El Torno 1	8.138695	-80.5989	Parte Baja
El Torno 2	8.138773	-80.59206	Parte Baja
El Torno 3	8.143707	-80.58769	Parte Baja
El Torno 4	8.13256	-80.60222	Parte Baja
El Cañal	8.129592	-80.67197	Parte Baja
El Mangal	8.140335	-80.61581	Parte Baja
La Cebolla	8.126844	-80.62347	Parte Baja
Jagüito	8.155002	-80.71286	Parte Baja
Lechería	8.164569	-80.71303	Parte Baja
Divisa	8.13867	-80.68624	Parte Baja

Tabla 3. *Ubicación geográfica del muestreo de sedimentos en la cuenca del Río Santa María.*

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
Gatú	8.274824	-81.00022	Parte Alta
Santa Fe	8.39988	-81.0532	Parte Alta
La Yeguada	8.431778	-80.86007	Parte Alta
Guías Arriba	8.231462	-80.77418	Parte Media
La Botijuela	8.250507	-80.7753	Parte Media
El Puente	8.322575	-80.85038	Parte Media
La Corocita	8.321166	-80.79586	Parte Media
La Raya	8.229323	-80.83154	Parte Media
Guías abajo	8.197376	-80.76386	Parte Media
Anón	8.164681	-80.95165	Parte Media
Capellanía	8.32452	-80.85068	Parte Media
El Bajo	8.097027	-80.62863	Parte Media
Las Tetas	8.289322	-80.79722	Parte Media
El Arrozal	8.123541	-80.62347	Parte Baja
Santa Rita	8.12249	-80.6233	Parte Baja
La Ciénega	8.126563	-80.56313	Parte Baja
Santa María	8.097027	-80.62863	Parte Baja
Cañazas	8.153014	-80.78895	Parte Baja
El Rincón	8.125105	-80.60237	Parte Baja

NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	CUENCA
El Torno 1	8.138849	-80.59901	Parte Baja
El Torno 2	8.13812	-80.59184	Parte Baja
El Torno 3	8.143707	-80.5876	Parte Baja
El Torno 4	8.13256	-80.60222	Parte Baja
El Cañal	8.129979	-80.67012	Parte Baja
El Mangal	8.140629	-80.61584	Parte Baja
La Cebolla	8.127639	-80.65945	Parte Baja
Jagüito	8.154541	-80.71328	Parte Baja
Lechería	8.16416	-80.71424	Parte Baja
Divisa	8.321166	-80.79586	Parte Baja

RESULTADO Y DISCUSIÓN

El resultado del análisis de metales pesados en suelos en este estudio se aprecia en la Tabla 4, en un resumen de los promedios de todas las muestras analizadas, donde se resaltaron algunas con más y menos contenido respectivamente, para su posterior comparación y evaluación con los límites permitidos por la norma US EPA (1993). Como se puede apreciar, el contenido de metales pesados no superó los límites máximos permitidos por la normativa internacional expresados en mg/kg e igualmente no sobrepasan los límites máximos de tablas de referencias propuestas de investigaciones realizadas por otros autores (Aguilar *et al.*, 1999). En los resultados obtenidos sobresalió el Cu en la parte alta y media de la cuenca, con 134.75 mg/kg en la parte alta y 137.7 mg/kg en la parte media. Esto puede estar relacionado con la minería clandestina que se practica en la parte alta de la Cuenca. Muchas personas se dedican a extraer oro, lo que puede liberar metales pesados en el agua del río, luego son acumulados en sedimentos y posteriormente en suelos de la cuenca.

Aunque las concentraciones de metales pesados en suelos no sobrepasaron los límites permitidos, se encuentran en valores altos y cerca de superar lo recomendado por las normas internacionales (USEPA, 1993). Esto quiere decir que, su presencia se asocia con la aplicación de productos químicos, puesto que los contenidos de metales pesados en algunos fungicidas y fertilizantes más que todo, son altos y sobrepasan lo permitido según los valores de referencias.

Tabla 4. Promedios del contenido total de metales pesados en suelos de la Cuenca del Río Santa María en la parte alta, media y baja.

Cuenca	Parte Alta		Parte Media					Parte Baja						
Lugar	Gatú 1	Santa Fe	La Raya 1	Los Limones 1	El Anón 3	Capellania 1	Las Tetas	Lechería	Cañazas 1	El Torno 2	El Arrozal 2	Santa María 1	(Aguilar, 1999) pH <7	USEPA, 1993
mg/kg														
Cu	34.22	134.75	54.24	64.55	128.8	64.78	137.75	7.97	67.92	72.35	15.05	13.27	150-300	750
Zn	101.28	95.27	178	60.48	174.63	128.85	136.45	1.55	101.81	87.02	45.64	22.86	300-600	1400
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3-7	20
Ni	22.84	32.65	10.34	10.17	28.02	18.75	37.74	23.54	19.34	11.79	4.76	2.1	80-200	210
Pb	3.17	6.84	7.55	7.49	2.73	5.03	2.3	8.81	8.32	2.42	1.56	7.05	250-350	150
pH	5.4	6.3	6.2	4.8	5.2	6.4	5.6	6.2	6.3	6.1	5.4	6.7		
Cuenca	Parte Alta		Parte Media					Parte Baja						
Lugar	Gatú 1	Santa Fe	La Raya 1	Los Limones 1	El Anón 3	Capellania 1	Las Tetas	Lechería	Cañazas 1	El Torno 2	El Arrozal 2	Santa María 1	(Aguilar, 1999) pH <7	USEPA, 1993
mg/kg														
Cu	34.22	134.75	54.24	64.55	128.8	64.78	137.75	7.97	67.92	72.35	15.05	13.27	150-300	750
Zn	101.28	95.27	178	60.48	174.63	128.85	136.45	1.55	101.81	87.02	45.64	22.86	300-600	1400
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	3-7	20
Ni	22.84	32.65	10.34	10.17	28.02	18.75	37.74	23.54	19.34	11.79	4.76	2.1	80-200	210
Pb	3.17	6.84	7.55	7.49	2.73	5.03	2.3	8.81	8.32	2.42	1.56	7.05	250-350	150
pH	5.4	6.3	6.2	4.8	5.2	6.4	5.6	6.2	6.3	6.1	5.4	6.7		

En cuanto a sedimentos en la Tabla 5 se presentan los valores arrojados. Se encontraron elevadas concentraciones de Cu (91.59 mg/kg) comparadas con los valores de referencias (<25 >50 mg/kg) de la US EPA (1993). Tanto en la parte alta, media y baja de la cuenca. De igual manera, el zinc presentó una alta concentración (193.85 mg/kg) en la parte media, pero no sobrepasó los límites permitidos (<90>200 mg/kg). El Cu encontrado en sedimento está relacionado con la presencia en suelos, ya que en el sedimento quedan los mismos cuando son arrastrados por los ríos e igualmente cuando se dan las inundaciones, quedando acumulados.

En las muestras de suelos se encontró presencia de Cu que no sobrepasaban los límites permitidos, pero se encuentran en alto contenido (137.75 mg/kg), según los valores de referencias según Aguilar, 1999 (150-300 mg/kg), mientras en sedimentos si sobrepasaron los límites (91.59 mg/kg), según los valores de referencias de US EPA, 1993 (<25>50 mg/kg), de allí la relación del contenido en sedimento – suelo.

En la parte media en los análisis realizados en sedimentos se encontró presencia de Ni superando los límites permitidos (55.92 mg/kg), al igual que en la parte baja (76.17 mg/kg) según los valores de referencias de la norma US EPA, 1993 (<20>50 mg/kg). Se puede atribuir al ingreso de desechos no ordinarios, como electrodomésticos y baterías, que emplean aleaciones de níquel en su fabricación, y a productos líquidos usados en la industria metalmeccánica, como aceites, pinturas y lubricantes procedentes del lavado de calles por la lluvia o que ingresan en forma directa al cauce (Marrugo *et al.*, 2006).

En caso de aceites y lubricantes en estas zonas se practica mucho la agricultura bajo riego en cucurbitáceas y cultivos industriales, en la época seca la mayoría tiene bombas de agua de motor en las orillas de los ríos, estos usan muchos lubricantes y combustible, el derrame de esto provoca la contaminación favoreciendo la presencia de Níquel en el sedimento.

Tabla 5. Promedios del contenido total de metales pesados en sedimentos de la Cuenca del Río Santa María en la parte alta, media y baja.

Cuenca	Parte Alta		Parte Media				Parte Baja						
Lugar	Gatú	Santa Fe	La Raya	El Anón	Capellania	Las Tetas	Lechería	Cañazas	El Torno 2	El Arrozal	Santa María	Cebolla	USEPA
Cu	45.16	67.12	50.57	86.17	59.03	91.59	53.08	68.39	46.48	22.89	90.03	53.65	< 25>50
Zn	114.24	109.93	193.85	178.85	149.23	174.10	136.73	125.66	73.86	83.08	118.40	112.26	<90>200
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	>6
Ni	13.80	10.53	8.60	37.89	11.54	55.92	16.73	48.18	31.08	12.21	76.17	12.53	<20>50
Pb	4.57	5.48	6.23	0.85	8.63	4.06	5.50	6.49	5.91	6.62	6.97	1.28	<40>60

En la tabla 6 se muestra el resultado total de metales pesados encontrados en los diferentes agroquímicos utilizados en labores agropecuarios dentro cuenca del Río Santa María. Los herbicidas e insecticidas no se encuentran por encima de los niveles máximos permitidos, a excepción de la muestra de fungicida que sobrepasó los límites permitidos de zinc (78.39 mg/kg) según los valores de referencia de Colmer y Sánchez, 2000 (1.3 – 35 mg/kg), lo que indicaría que probablemente no sean los responsables de la detección de estos elementos en suelos y demás, sin embargo, la continuidad y uso excesivo de estos productos por un largo periodo, es algo que puede provocar la presencia y posterior incremento del contenido de muchos metales pesados en áreas de producción agropecuarias.

De igual manera, es necesario mencionar que en este estudio sólo se realizó el análisis a siete productos, los usados más comúnmente, sin embargo, en el mercado existe una gama de productos con diferentes principios activos y diferentes formulaciones, que son utilizados a gran escala y que contienen altos contenidos de metales pesados en su composición y son asociados a la presencia en suelos, sedimentos, aguas y cultivos. Es decir que, para tener una mayor representatividad o evidencia de la asociación de estos productos con la presencia de metales pesados en dichos componentes, se deben analizar una mayor cantidad de agroquímicos, incluyendo los más tóxicos, los más usados, los más residuales y persistentes, que no pueden ser degradados con facilidad, para comprobar los resultados encontrados en todas las investigaciones futuras.

En cuanto a los fertilizantes, en la Tabla 6 se muestran los valores encontrados. Se puede ver que, en la Urea los elementos Cu, Zn y Ni reportaron valores de 17.43 mg/kg, 291.50 mg/kg y 37.95 mg/kg consecutivamente, superando los límites máximos permitidos según los valores de referencias de Alloway, 1995) y Kabatas - Pendias y Pendias, 1984 (1 – 15 mg/kg, 1.3 – 25 mg/kg, 0.8 – 14 mg/kg), para fertilizantes nitrogenados y se puede relacionar con la presencia de metales pesados, puesto que la urea es un fertilizante muy utilizado en las actividades agrícolas y pecuarias. De igual manera, para el caso del abono 12-24-12 el Zn reportó 264.80 mg/kg y el Ni reportó 68.03 mg/kg, ambos superando los límites máximos permitidos según los valores de referencias de Alloway (1995) y Kabatas - Pendias y Pendias (1984).

Tabla 6. Contenido total de metales pesados en agroquímicos en la cuenca del Río Santa María en la parte alta, media y baja.

Muestras	Plaguicidas y fertilizantes	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb
		mg/kg				
Herbicida	Gramoxone	0.16	12.25	ND	0.22	0.04
Fungicida	Panomil 72 Sc	0.48	78.39	ND	3.35	0.12
Herbicida	Glifosato	0.09	11.76	0.37	ND	ND
Insecticida	Cipermetrina	0.33	13.50	ND	1.00	0.16
Herbicida	2,4-D	0.67	13.18	ND	ND	0.19
Valor de referencia según Colmer y Sánchez 2000		12-50	1.3-35	60		0.8-14
Fertilizante	Urea	17.43	291.50	ND	37.95	3.75
Fertilizante	Abono completo	8.61	264.80	0.36	68.03	2.43
Valor de referencia de fertilizantes nitrogenados		1-15	1.3-25	0.05-8.5	0.8-14	
Valor de referencia de fertilizantes fosforados		1-300	50-1450	0.1-170	7-38	7-225

ANÁLISIS DE VARIANZA

En la Tabla 7, se observa que el cobre total presentó diferencia altamente significativa (<0.001) entre los sitios muestreados (localidad), igualmente entre las muestras y las diferentes partes de la cuenca (alta, media y baja) estando por debajo de 0.05 (95% de probabilidad).

En la Tabla 8 sobre el análisis de varianza de zinc se observa que presentó diferencias altamente significativas entre los puntos de muestreos (localidades) y significativa entre las partes de la Cuenca (alta, media y baja), en cambio entre las muestras (suelos y sedimentos) no hubo diferencias significativas

En el análisis de varianza del cadmio en suelo y sedimento (Tabla 9), el resultado arrojó que solo existe diferencia altamente significativa entre los sitios muestreados (localidad).

En el análisis de varianza del níquel en suelo y sedimento (Tabla 10), se observa que existe diferencias altamente significativas entre las localidades solamente, indicando que los contenidos de este metal en los diferentes sitios de muestreo varían entre si notablemente.

En el análisis de varianza del plomo en suelo y sedimento (Tabla 11), los resultados arrojan que en las tres variables estudiadas (localidad, cuenca, muestra) hubo diferencias altamente significativas.

Tabla 12. *Análisis de correlación de características físico-químicas y minerales disponibles del suelo con minerales y metales pesados totales.*

	Mg-total	K-total	Cu-total	Zn-total	Cd-total	Ni-total	Pb-total
Arena	-0.03	0.25	0.22	0.00	0.03	0.03	0.12
Limo	-0.10	-0.13	-0.10	-0.03	-0.01	0.09	0.15
Arcilla	-0.22	-0.18	-0.14	-0.03	0.03	-0.01	0.06
MO	0.01	-0.09	-0.18	-0.04	-0.10	0.18	0.07
pH	0.22	0.11	0.08	-0.06	-0.02	0.05	-0.11
P-disponible	0.38	0.39	0.15	0.08	-0.06	0.10	0.08
K-disponible	0.18	0.08	-0.09	-0.06	-0.11	0.07	0.02
Ca-disponible	0.22	0.26	0.20	0.03	-0.05	0.02	0.12
Mg-disponible	0.13	0.16	0.16	0.08	-0.08	0.14	0.09
Al-disponible	-0.12	-0.09	-0.04	0.13	-0.06	-0.10	-0.02
Mn-disponible	-0.06	-0.09	-0.29	-0.35	-0.15	-0.06	-0.08
Fe-disponible	-0.05	-0.07	0.00	-0.06	-0.06	-0.02	-0.05
Zn-disponible	-0.04	-0.02	-0.17	-0.10	-0.09	-0.02	0.13
Cu-disponible	0.06	-0.05	-0.16	-0.02	-0.07	0.18	-0.05

En la Tabla 12 se observa que las características físico-químicas más importantes y minerales disponibles de los suelos analizados, no presentaron correlación con los minerales y metales pesados totales en esta investigación.

ANÁLISIS MULTIVARIADO DE COMPONENTES PRINCIPALES

En este análisis se muestra un resumen de las variantes evaluadas, sin tomar en cuenta la unidad de medida.

En la figura 3 se muestra un resumen del análisis estadístico en las gráficas y cuadros previos, es decir que se relaciona cada uno de los componentes estudiados sin tomar en cuenta sus unidades de medidas. Está dividido según las partes de la cuenca (alta, media y baja). La parte alta es la que menor relación guarda con respecto a las características físico-químicas y tiene sentido puesto que, se puede erosionar el suelo y producirse arrastre de los sedimentos en aguas hasta acumularse en la parte media y baja. Igualmente, con este análisis no solo se relacionan las partes de la cuenca con todos estos componentes, sino también entre ellos puede existir relación. Es decir que, el análisis multivariado de componentes principales reúne todos los componentes que están relacionados uno con otro.

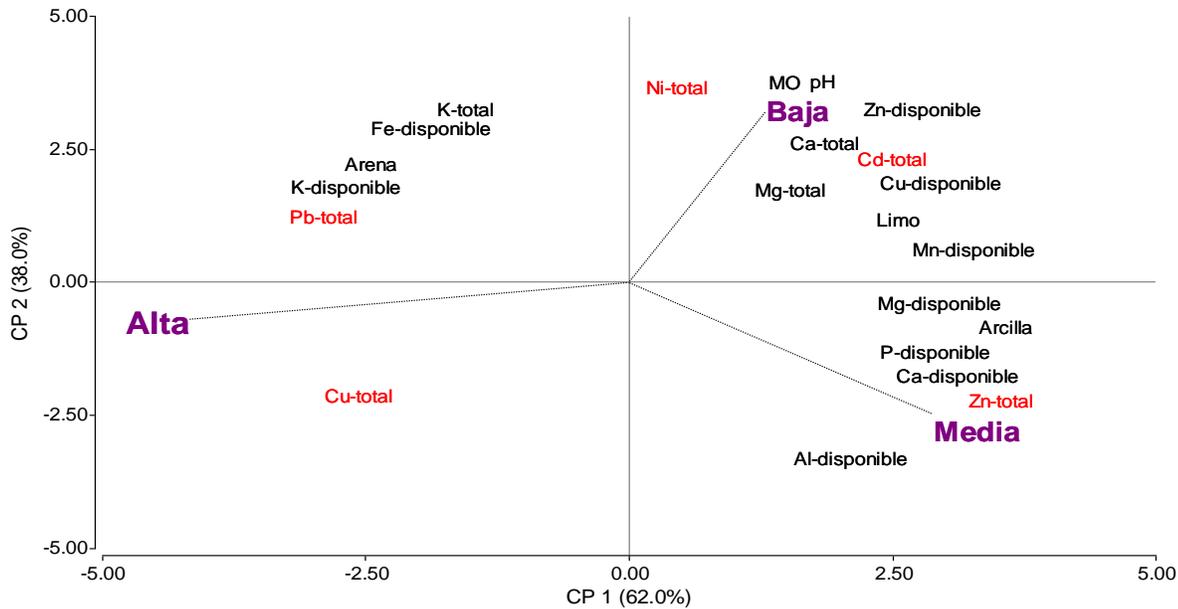


Figura 3. Análisis multivariado de componentes principales en suelos y sedimentos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la norma USEPA (1993) en la cuenca del Río Santa María no se encontró contaminación por metales pesados en la matriz suelo, a diferencia de la matriz sedimento que reportó contaminación por los metales pesados Ni y Cu.

Aunque en el análisis de los insumos utilizados por los agricultores se encontraron algunos elementos que superaban los límites máximos permisibles, en el suelo no hay contaminación. De los 7 agroquímicos analizados, se encontró que en el fungicida el contenido de Zn supera los límites permisibles, de igual forma los fertilizantes superan los niveles permisibles: la urea con el Cu, Zn y Ni y el abono 12-24-12.

Los resultados obtenidos en este trabajo sobre la concentración de metales pesados demuestran que realizar este estudio es muy importante para aportar antecedentes y datos sobre las zonas de producción agrícola y pecuaria, más que todo las que se encuentran dentro de las cuencas del país, que se puede relacionar a la acción antropogénica, con el fin de encontrar posibles soluciones para mejorar dichas áreas que benefician a toda la población productora y consumidora del país.

RECOMENDACIÓN

Es necesario seguir ampliando el área de investigación relacionada con metales pesados en suelos, sedimentos, aguas, cultivos y agroquímicos, puesto que es un tema de suma importancia para el ambiente y la población, en vista de que en el país son escasas las investigaciones sobre este tema y que serán de mucha utilidad para resolver problemas de contaminación ambiental por concentración de metales pesados.

Es de suma importancia tener presente para futuras investigaciones sobre concentración de metales pesados en agroquímicos, aumentar la cantidad de muestras de estos productos, puesto que en el mercado existe una alta gama de estos. Esto aumentaría la precisión en los resultados ya que, a mayor número de muestras, más probabilidad existe de encontrar metales pesados en los diferentes productos, por lo tanto, el estudio tendrá una mayor exactitud en la interpretación de los resultados de los agroquímicos en relación con suelo, agua, sedimento y cultivos.

REFERENCIAS

- Abollino, O; Aceto, M; Malandrino, M; Mentasi, E; Sarzanini, C; Petrella, F. 2002. Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. *Chemosphere*. Consultado: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Villarreal-2/publication/334041592_contaminacion_de_suelo_y_sedimentos_del_rio_La_Villa/links/5d13841692851cf4404ef787/contaminacion-de-suelo-y-sedimentos-del-rio-La-Villa.pdf
- Aguilar, J; Dorronsoro, C.; Galán, E. & Gómez Ariza, J.L. (1999): Los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado en Andalucía y la metodología y técnica de toma de muestras y análisis para su investigación. In "Investigación y Desarrollo Medioambiental en Andalucía". OTRI. Universidad de Sevilla, 61-64.
- Alloway B.J. 2013 *Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability* (3ra Ed.) United Kingdom.
- Alloway, B. J. (1990). "Soil processes and the behaviour of inerals " en "Heavy Metals in Soils ". B.J. Alloway (et.), Blackie and Son, Ltd., Gran Bretaña.
- Curtis, D.; Watkins J. 2001 *Manual de Toxicología*. 5ta Ed. Ed McGraw-Hill Interamericana. México
- Espinosa, J. *et al.* 1987. Residuos Cúpricos y de Metales Pesados en el Área de Barú. Hortalizas, Raíces y Tubérculos, Frutales; IDIAP, Panamá. Consultado: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Villarreal-2/publication/334041592_contaminacion_de_suelo_y_sedimentos_del_rio_La_Villa/link/s/5d13841692851cf4404ef787/contaminacion-de-suelo-y-sedimentos-del-rio-La-Villa.pdf

- González, I.; López, M.; Romero, A.; FernándezCaliani, J.C.; Aparicio, P. & Galán E. (2008): Influencia de la composición mineralógica sobre la movilidad de elementos traza en suelos agrícolas afectados por explotaciones mineras de la Faja Pirítica Ibérica. *Geotemas*, 10, 977-980.
- José E Villareal, e.al (2018). determinaron la concentración de metales pesados en suelos, sedimentos, abonos orgánicos y agroquímicos que se utilizan comúnmente para la producción agropecuaria dentro de la cuenca del río La Villa, provincias de Herrera y Los Santos, Panamá.
- Kabata-Pendias A, Pendias H, 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kabata-Pendias A. Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*. 2004; 122(2):143-149.
- Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. 2005a. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*, On Line: 0160- 4120-D 2004 doi:10.1016/j.envint.2004.08.002. Consultado: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Marrugo, J., Lans, E., Doria, G., Bello, L., Castillo, M., Cortes, F. & Pinedo, J. (2006). Impacto ambiental por contaminación con níquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del Río San Jorge, en el Departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba, Centro de Investigaciones – CIUC. Monteiro, Colombia, 109 p. Consultado el 4 de febrero del 2022: <file:///D:/Downloads/Dialnet-EvaluacionDeMetalesPesadosEnLosSedimentosSuperfici-4835669.pdf>.
- Mason, B. 1992. Preparation of soil sampling protocols: Sampling techniques and strategies. United States Environmental Protection Agency, Washington. 169 p. consultado: https://www.researchgate.net/publication/215910302_Muestreo_con_fines_de_caracterizacion_y_evaluacion_de_propiedades_de_los_suelos
- Santo-Pineda, A. (2018). *METALES PESADOS EN SUELOS Y SEDIMENTOS*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jose-Villarreal-2/publication/334041592_contaminacion_de_suelo_y_sedimentos_del_rio_La_Villa/links/5d13841692851cf4404ef787/contaminacion-de-suelo-y-sedimentos-del-rio-La-Villa.pdf
- Sauerbeck, D. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.* 1, 57-58.
- SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Guía Técnica para orientar en la Elaboración de Estudios de Caracterización de Sitios Contaminados. Ministerio del ambiente. México, 217 p.

- Singh, A. *et al.*, (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.
- USEPA (United States Environment Agency). 1993. EPA/600/4-90/027F. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Fourth ed. Cincinnati, Ohio. 273 p.
- Walton, R. C., McCrohan, C. R., Livens, F., White, K. N. (2010). Trophic transfer of aluminium through an aquatic grazer–omnivore food chain. *Aquatic toxicology* 99(1), 93-99.

AFINIDAD MORFOMÉTRICA ENTRE ESPECIES DEL GÉNERO *Camarotus* GERMAR (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

MORPHOMETRIC AFFINITY BETWEEN SPECIES OF THE GENUS *Camarotus* GERMAR (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Rubén D. Collantes González*. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá. rdeg31@hotmail.com.
<https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

*Correo de Correspondencia: rdeg31@hotmail.com

Recibido: 09/09/2022

Aceptado: 08/11/2022

RESUMEN. Los insectos suelen utilizarse como indicadores ambientales. Se requieren herramientas que permitan diferenciar especies para estudiar la biodiversidad. El género *Camarotus* Germar, 1833 (Coleoptera: Curculionidae), es un grupo de gorgojos que en Panamá está asociado a por lo menos ocho especies vegetales de importancia medicinal, gastronómica, ornamental o maderable. El presente estudio tuvo por objetivo aplicar la morfometría para conformar grupos de especies de *Camarotus*. Para ello, se realizó un análisis de conglomerados jerárquico de las especies conocidas de *Camarotus*; tomando como variables de estudio la longitud total del cuerpo (mm), longitud de los élitros (mm) y ancho de los élitros (mm), para conformar los grupos de *Camarotus*. Se utilizó el método de vinculación de Ward y una distancia euclídea cuadrada fijada en cinco; comparando los conglomerados obtenidos mediante el análisis con la propuesta de Reichardt (1971a). De acuerdo con los resultados, el Conglomerado 1 estuvo conformado por seis especies del Grupo *pusillus*, una del Grupo *attelaboides* y tres del Grupo *cassidoides*; el Conglomerado 2 lo conformaron una especie del Grupo *pusillus*, nueve del Grupo *attelaboides* y 10 del Grupo *cassidoides*; el Conglomerado 3 estuvo representado por seis especies del Grupo *attelaboides* (incluida *C. attelaboides*) y seis del Grupo *cassidoides*. El Grupo *pusillus*, considerado el más primitivo, es el más estable; mientras que la división entre los Grupos *attelaboides* y *cassidoides* no es definitiva. En conclusión, la afinidad morfométrica entre especies de *Camarotus* de diferentes grupos, sugiere la necesidad de investigar la clasificación taxonómica a lo interno del género.

PALABRAS CLAVE: Análisis de conglomerados, gorgojos, grupos, indicador ambiental, Neotrópico.

ABSTRACT. Insects are frequently used as environmental indicators. Tools that facilitate the differentiation between species to develop biodiversity studies are required. The genus *Camarotus* Germar, 1833 (Coleoptera: Curculionidae), is a group of weevils that in Panama is associated with at least eight plant species of medicinal, gastronomic, ornamental or timber importance. The aim of this study was to apply morphometry to form *Camarotus* species groups. For this, a hierarchical cluster analysis of *Camarotus* known species was performed; taking as study variables the body length (mm), elytra length (mm) and elytra width (mm), to form *Camarotus* species groups. Ward's linkage method and a square Euclidean distance set at five were used; comparing the conformed clusters by data analysis with the classification proposal of Reichardt (1971a). According to the results, Cluster 1 was made up of six species from the *pusillus* Group, one from the *attelaboides* Group and three from the *cassidoides* Group; Cluster 2 was made up of one species from the *pusillus* Group, nine from the *attelaboides* Group and 10 from the *cassidoides* Group; Cluster 3 was represented by six species from the *attelaboides* Group (including *C. attelaboides*) and six from the *cassidoides* Group. The *pusillus* Group, considered the most primitive, is the most stable; while the division between the *attelaboides* and *cassidoides* groups is not definitive. In conclusion, the morphometric affinity between *Camarotus* species belonging to different groups suggests the need to investigate the taxonomic classification within the genus in the future.

KEYWORDS: Cluster Analysis, environmental indicators, groups, Neotropic, weevil.

INTRODUCCIÓN

Los insectos representan alrededor del 66% de las especies animales conocidas en el planeta; siendo capaces de aprovechar virtualmente todos los ecosistemas naturales y pudiendo brindar en muchos casos servicios ecosistémicos (Jankielsohn, 2018). Particularmente, los insectos pueden servir como indicadores ambientales, en estudios de línea base y en análisis de sostenibilidad de agroecosistemas productivos (Salcedo y Trama, 2014; Collantes y Rodríguez, 2015).

El género *Camarotus* Germar, 1833 (Coleoptera: Curculionidae), está constituido por gorgojos de *rostrum* corto que habitan los bosques neotropicales. A la fecha, se tiene registro de 43 especies conocidas de dicho género en el mundo (Reichardt, 1971a, b). Collantes y Barrios (2021a), reportaron para Panamá 12 especies de *Camarotus* (11 nuevos registros), asociadas por lo menos a ocho especies vegetales, de importancia medicinal, gastronómica, ornamental y maderable; por lo que resultaría interesante el poder considerarlos como posibles indicadores de biodiversidad.

Se necesitan herramientas que faciliten la diferenciación entre especies crípticas. Collantes y Barrios (2021b), describieron la genitalia masculina de 14 especies de *Camarotus*; encontrando atributos que pueden servir para identificar especies, como las punturaciones, la forma del ápice y ostium, la curvatura del pene y la presencia de setas. Sin embargo, se requiere de métodos prácticos, que permitan clasificar rápidamente los organismos estudiados. Reichardt (1971a), ordenó las especies conocidas de *Camarotus* en los Grupos *pusillus*, *attelaboides* y *cassidoides* (Figura 1); basándose en el tamaño de las especies y el desarrollo de los élitros.

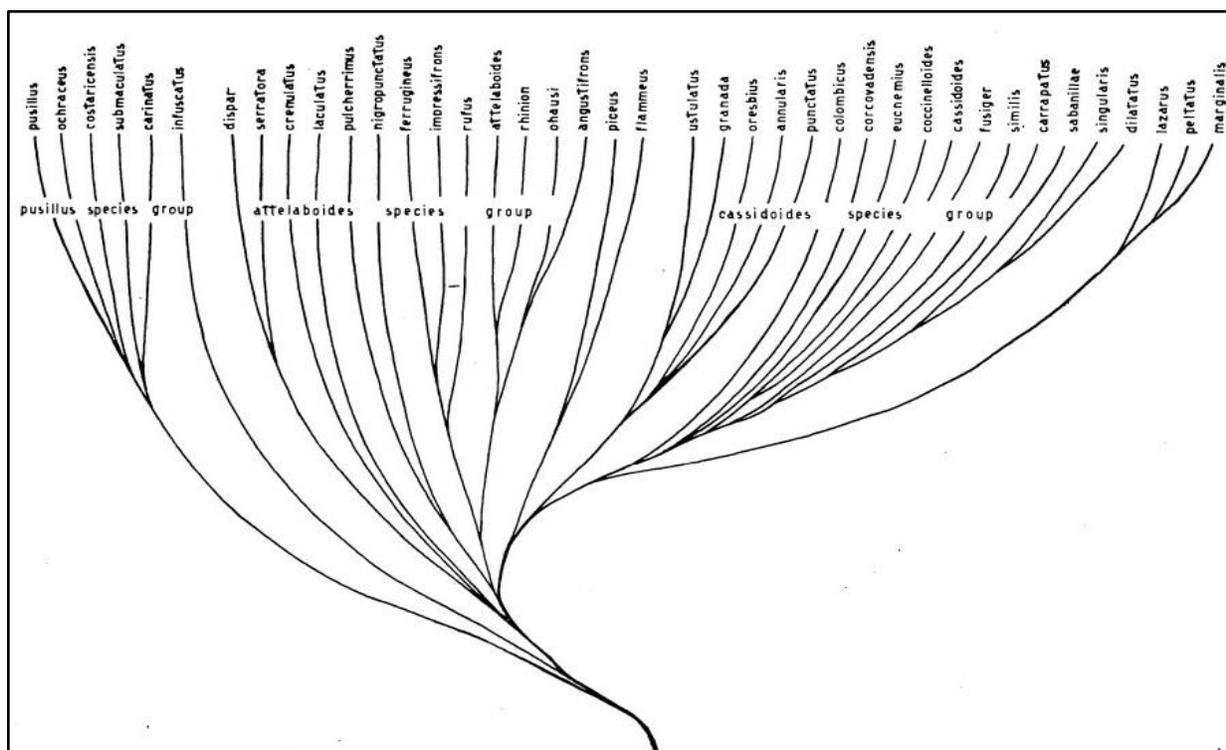


Figura 1. Tendencia evolutiva de *Camarotus*. Fuente: Reichardt (1971a).

La morfometría es una herramienta que, ha sido empleada con éxito en escarabajos (Collantes *et al.*, 2022), en especial en la Familia Curculionidae (Jimenez *et al.*, 2018; Collantes, 2021; Szali

et al., 2021); con la finalidad de facilitar la identificación de especies, en algunos casos complementado con análisis moleculares. Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue aplicar la morfometría para diferenciar grupos de especies del género *Camarotus* Germar, 1833.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Programa Centroamericano de Maestría en Entomología, Universidad de Panamá (8°59'11" N 79°31'58" O). Se revisó la colección de especímenes de *Camarotus* (Collantes, 2010), la cual contaba con material colectado en Panamá y otros países del Neotrópico; además de material tipo y e identificado, prestados por diferentes entidades, dando un total de 35 especies. Para confirmar y complementar los datos de las especies restantes, se consultaron los trabajos de Heller (1923), Voss (1965) y Reichardt (1971a, b), los cuales se mantienen vigentes, porque este género ha sido poco estudiado. Se realizó un análisis de conglomerados jerárquico, incluyéndose tres morfoespecies, similar a lo desarrollado por Collantes *et al.* (2022). La matriz de distancias fue hecha con las distancias Euclidianas y la metodología de agrupamiento fue la de mínima varianza dentro de grupos y máxima varianza entre grupos de Ward. Las tres variables de estudio fueron longitud del cuerpo (mm), longitud y ancho de los élitros (mm). El análisis se realizó mediante el programa SPSS. El no contar con material tipo de todas las especies, sumado a descripciones incompletas de los autores originales, limitó el poder incluir otros caracteres.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de conglomerados jerárquicos (Figura 2), mediante el método de vinculación de Ward y distancia euclídea cuadrada fijada en cinco, conformó los siguientes grupos de *Camarotus*:

Grupo 1: *Camarotus* sp. 1, *C. pusillus*, *C. ochraceus*, *C. costaricensis*, *C. submaculatus*, *C. carinatus*, *C. infuscatus*, *C. dispar*, *C. ustulatus*, *C. oresbius* y *C. carrapatus*.

Grupo 2: *Camarotus* sp. 2, *Camarotus* sp. 3, *C. weneri*, *C. serrator*, *C. crenulatus*, *C. alvarengai*, *C. trunculus*, *C. nigropunctatus*, *C. ferrugineus*, *C. impressifrons*, *C. rhinion*, *C. ohausi*, *C. granada*, *C. punctatus*, *C. corcovadensis*, *C. eucnemius*, *C. coccinelloides*, *C. fusiger*, *C. singularis*, *C. dilatatus*, *C. lazarus* y *C. marginalis*.

Grupo 3: *C. laculatus*, *C. pulcherrimus*, *C. rufus*, *C. attelaboides*, *C. angustifrons*, *C. piceus*, *C. flammeus*, *C. annularis*, *C. colombicus*, *C. cassidoides*, *C. similis*, *C. sabanillae* y *C. peltatus*.

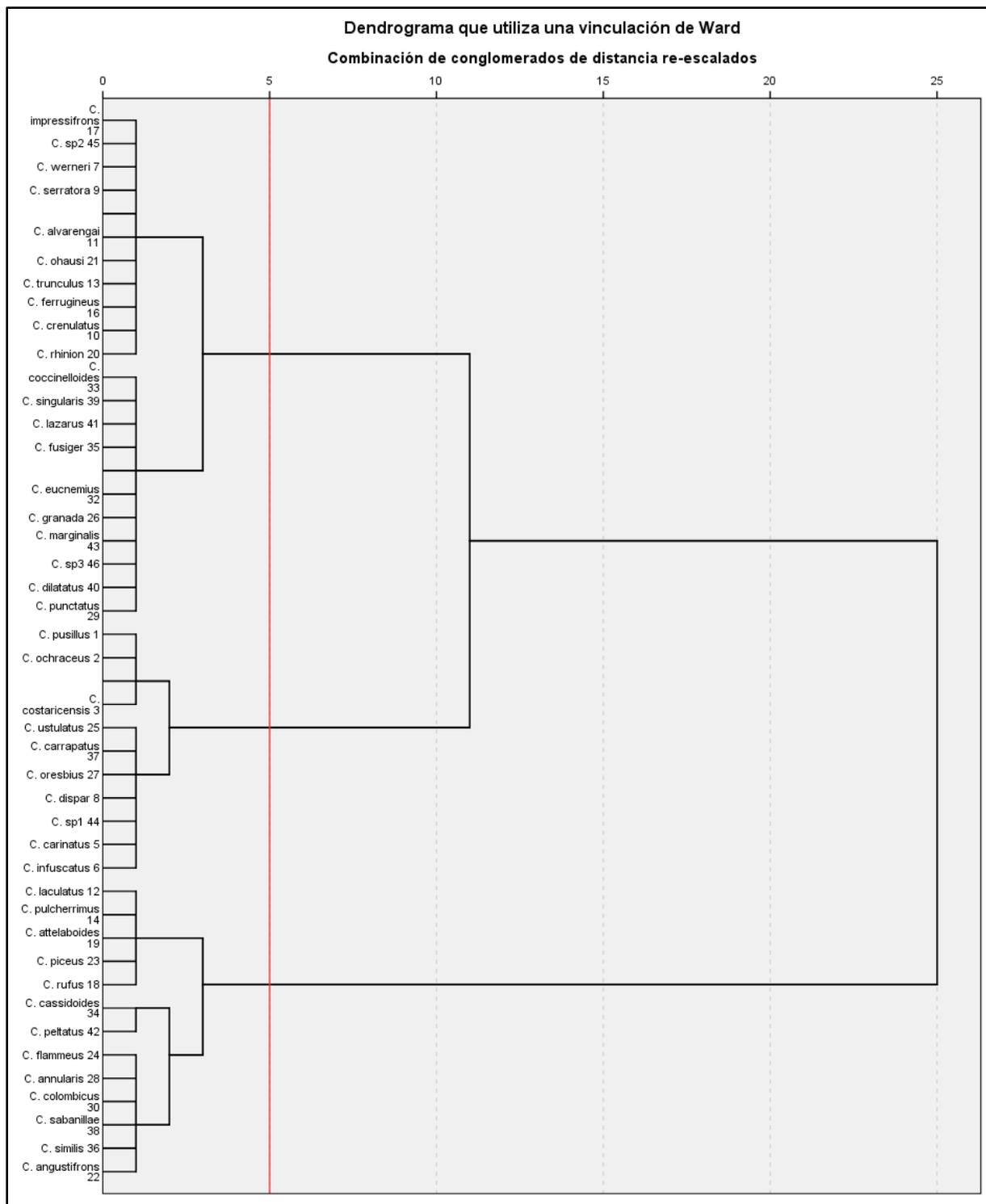


Figura 2. Análisis de conglomerados jerárquicos para *Camarotus*.

El Grupo 1, conformado mayormente por especies de tamaño pequeño (< 3 mm) y con expansión de los élitros presente o poco desarrollada; ubicándose en el mismo seis especies del Grupo *pusillus*, una del Grupo *attelaboides* y tres del Grupo *cassidoides*. El Grupo 2, lo conformaron

mayormente especies de 3 mm o más de longitud, con desarrollo de expansión de los élitros muy variable; contando con una especie del Grupo *pusillus*, nueve del Grupo *attelaboides* y 10 del Grupo *cassidoides*. El Grupo 3, correspondió especies de más de 3 mm, con desarrollo de la expansión de los élitros moderada o muy desarrollada; constituido por seis especies del Grupo *attelaboides* (incluida *C. attelaboides*) y seis del Grupo *cassidoides*.

Las dimensiones del cuerpo utilizadas han servido para conformar grupos de especies que difieren de la propuesta original de Reichardt (1971a); quien había manifestado de por sí el no encontrar un límite claro entre los grupos *attelaboides* y *cassidoides*, recordando que esta es una clasificación artificial, al igual que el presente análisis. Además, especies como *C. submaculatus* e inclusive especímenes de la misma especie, como *C. ohausi*, pueden poseer atributos adicionales que complementen los criterios de clasificación utilizados (Collantes, 2010).

En futuros estudios, deben considerarse caracteres cuantitativos, cualitativos internos y externos, como sugirieron Vanin y Reichardt (1974), al comparar a *Camarotus* con otros géneros de gorgojos. Dichos atributos no fueron tomados en consideración en el análisis, debido a las limitaciones previamente señaladas, dado que, al no contar con los holotipos de todas las especies, se tuvo que consultar las descripciones disponibles, por lo que no fue posible incorporar más variables de las descritas por los autores originales. Por otro lado, se ha demostrado que las diferencias morfométricas en otros grupos de Curculionidae, como el género *Aspidiotes*, son más importantes para los parientes cercanos y simpátricos, mientras que la divergencia en caracteres discretos es más importante en el caso de parientes distantes (Sánchez-Ruiz y Sanmartín, 2000).

Por otro lado, al considerar la posibilidad de realizar análisis de ADN para establecer el parentesco entre especies, supone serias limitantes, porque, hasta donde se conoce, en algunos casos solamente existe un holotipo por especie, como *Camarotus singularis* y *C. dilatatus*, descritas por Champion (1903); las cuales, dada su antigüedad y valor, no es posible utilizarlas en dichas pruebas. Esto redundaría en la necesidad de continuar realizando colectas de nuevo material y realizar identificaciones adecuadas a futuro.

A diferencia del trabajo realizado por Reichardt (1971a), se contó con los holotipos de las dos especies descritas por Champion (1903), siendo relevante señalar que *C. singularis* posee dientes en el margen interno de la tibia anterior, lo cual no había sido detallado previamente en la descripción original de la especie. De manera similar, Reichardt (1971a), señaló en la descripción de *C. granada* que no poseía dientes en el margen interno de la tibia y que la polinosidad era rojiza, pero en el material colectado en Panamá se observó que las protibias poseen una hilera de dientes muy cortos, difíciles de apreciar a simple vista y la polinosidad es amarilla. Estos hallazgos no se incluyeron en el análisis de conglomerados, por las limitantes manifestadas previamente, pero son dignas de ser mencionadas.

Es meritorio destacar que, la mayoría de especies descritas de *Camarotus* se encontraron en Brasil, desconociéndose todavía mucha información sobre el resto de países de la Región Neotropical; además de que la mayoría de los especímenes colectados se encontraban en el dosel del bosque, por lo cual se estima que el género pudiese ser aún más diverso y pudiese también encontrarse en especies de importancia gastronómica, medicinal y maderable, como reflejó el trabajo de Collantes y Barrios (2021a).

De las morfoespecies revisadas, *Camarotus* sp. 1 fue ubicada en el Grupo 1, cercana a *C. carinatus*, ya que los élitros poseen una expansión moderada y no tienen carinas. *Camarotus* sp. 2 es parecida a *C. ohausi*, pero se diferencia de esta última en que los mechones de setas no son tan largos, pero el análisis la ubicó en el Grupo 2 próxima a *C. weneri*. *Camarotus* sp. 3 pertenece también al Grupo 2, cercana a especies con margen de los élitros redondeado como *C. marginalis* y *C. punctatus*, diferenciándose por el *rostrum*, el cual es mucho más corto.

El Grupo *pusillus*, considerado el más primitivo, es el más estable, mientras que la división entre los Grupos *attelaboides* y *cassidoides* no es definitiva, por lo cual se recomienda continuar con estudios que incluyan otros caracteres. Como se refirió anteriormente, esto concuerda con Reichardt (1971a), sobre la dificultad de separar especies de los grupos *attelaboides* y *cassidoides*.

CONCLUSIÓN

Del presente estudio, se concluye que la aplicación de la morfometría permitió conformar tres grupos con las 35 especies de *Camarotus* estudiadas, sumadas a las otras ocho especies referenciadas mediante las descripciones consultadas; encontrándose diferencias estadísticas altamente significativas. El análisis de conglomerados recogió el 76% de la variabilidad observada, encontrándose cada uno de los grupos constituido por entre 10 y 15 especies bien caracterizadas por sus descriptores específicos. Ante esta evidencia, se sugiere revisar la clasificación taxonómica a lo interno del género *Camarotus*, en complemento con caracteres morfológicos internos. Este grupo de gorgojos persiste como un reto taxonómico interesante y por su asociación con especies vegetales de interés, tiene potencial como indicador de biodiversidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Héctor Barrios y al Dr. Enrique Medianero, por el asesoramiento y orientación brindados.

A la memoria del Ingeniero Bolívar Jaén, M. Sc., Profesor del curso de Entomología Forestal. a las instituciones que prestaron especímenes: Programa de Maestría en Entomología-Universidad de Panamá, Museo de Invertebrados G. B. Fairchild-Universidad de Panamá, Museo de Historia Natural de Londres, UK, Museo de Tierkunde en Dresden, Alemania, Museo de Zoología de la Universidad de Sao Paulo, Brasil, Museo de Historia Natural de Basel, Suiza, Museo Nacional de Praga, República Checa, Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales. Al Dr. Randy Atencio V., por las recomendaciones dadas para la mejora del presente documento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Champion, G. C. 1903. *Biologia Centrali-Americana*, Insecta, Coleoptera 4 (4), 1-144, figs.
- Collantes, R. (2010). *Revisión Taxonómica del Género Neotropical Camarotus Germar (Coleoptera: Curculionidae)*. [Tesis de Maestría, Universidad de Panamá, Panamá]. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35407.00160>
- Collantes, R. (2021). Aplicación de la Morfometría en la identificación de especies de la Tribu Xyleborini (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Aporte Santiaguino*, 14(1), 92-103. <https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n1.772>
- Collantes, R., y Barrios, H. (2021a). Vegetación asociada al género Neotropical *Camarotus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) y nuevos reportes para Panamá y Perú. *Tecnociencia*, 23(1), 262-275. <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v23n1a13>
- Collantes, R., y Barrios, H. (2021b). Descripción de la genitalia masculina de catorce especies de *Camarotus* Germar (Coleoptera: Curculionidae). *Scientia*, 31(2), 49-67. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/scientia/article/view/2287>
- Collantes, R., Perla, D., y Rodríguez, A. (2022). Afinidad morfométrica en la tribu Coccinellini (Coleoptera: Coccinellidae) de la costa peruana. *Semilla del Este*, 3(1).
- Collantes, R., y Rodríguez, A. (2015). Sustentabilidad de agroecosistemas de palto (*Persea americana* Mill.) y mandarina (*Citrus* spp.) en Cañete, Lima – Perú. *Tecnología & Desarrollo*, 13(1), 27-34. https://www.researchgate.net/publication/304580657_Sustentabilidad_de_agroecosistemas_de_palto_Persea_americana_Mill_y_mandarina_Citrus_spp_en_Canete_Lima_-_Peru
- Heller, K. E. (1923). Uber bekannte und neue *Camarotus*-Arten (Coleopt. Curcul.). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 61-67.
- Jankielsohn, A. (2018). The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, 6(2), 62-73. <http://dx.doi.org/10.4236/ae.2018.62006>
- Jimenez, L. H., Ranz, R. R., López, R. C., Elgueta, M., y Honorat, M. P. (2018). Morphometric and molecular differences among *Calvertius tuberosus* (Coleoptera: Curculionidae) populations associated with Andean and coastal populations of *Araucaria Araucana* in the La Araucanía Region, Chile. *Revista Brasileira de Entomologia*, 62, 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2017.12.004>
- Reichardt, H. (1971a). The Camarotine Weevils (Coleoptera, Attelabidae). *Arquivos de Zoologia*, 20(2), 97-189.
- Reichardt, H. (1971b). Notes Sur Quelques *Camarotus* Et Description De Deux Espèces Nouvelles. *Nouvelle Revue d'Entomologie*, 1(3), 297-303.

- Salcedo, S., y Trama, F. (2014). *Manual de identificación de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca San Alberto, Provincia de Oxapampa, Perú*. Primera Edición. CONCYTEC / FONDECYT, PE. 116 pp.
- Sánchez-Ruiz, M., y Sanmartín, I. (2000). Separation of *Aspidiotes* species using morphometric analysis (Coleóptera: Curculionidae). *European Journal of Entomology*, 97(1), 85-94. <https://doi.org/10.14411/eje.2000.016>
- Sazali, S. N., Hazmi, I. R., Abang, F., Rahim, F., y Jemain, A. A. (2021). Phylogeny and morphometric variation of several weevils species (Coleoptera: Curculionidae) from Malaysia. *Serangga*, 26(2), 183-201. https://www.researchgate.net/publication/357657866_Phylogeny_and_morphometric_variation_of_several_weevils_species_Coleoptera_Curculionidae_from_Malaysia
- Vanin, S. A., y H. Reichardt. (1974). On the Systematic Position of Camarotinae (Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 18(4), 133-140.
- Voss, E. (1965). Die Unterfamilie Camarotinae, ihre Beziehungen zur Familie Attelabidae sowie ein Versuch, die phylogenetischen Zusammenhänge innerhalb der letzteren zur Darstellung zu bringen (Coleoptera, Curculionidae). *Entomologische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde in Dresden*, 32(11), 211-244, 4 figs., 6 pls.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL USO DE DETERMINADOS SEMENTALES Y DONADORAS DE OVOCITOS, EN PROGRAMAS DE PRODUCCIÓN IN VITRO DE EMBRIONES (REPORTE PRELIMINAR)

SOME CONSIDERATIONS IN THE USE OF CERTAIN BULLS AND OOCYTE DONORS ON IN VITRO EMBRYO PRODUCTION PROGRAMS (PRELIMINAR REPORT)

*Reinaldo De Armas**. Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Zootecnia. Panamá. reinaldo.dearmas@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0003-2488-0113>

Sergio Villamil. Gerente General Hacienda Ecos del Porvenir. Chiriquí. Panamá. ecosdelporvenir@gmail.com

Carlos F. Marins. Gerente General Gertec Embriones. Panamá. caisbarreiro@hotmail.com

Alex Solis. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia. Panamá. alex.solis@up.ac.pa. <https://orcid.org/0000-0002-1764-2654>

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

*Correo de Correspondencia: reinaldo.dearmas@up.ac.pa

Recibido: 21/02/2023

Aceptado: 10/04/2023

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar algunos índices de eficiencia en programas de producción y transferencia de embriones bovinos in vitro, se compararon los resultados alcanzados en 9 donantes de ovocitos y nueve toros empleados para la fertilización in vitro (FIV), de los mismos. En ambos casos se estableció un orden decreciente en referencia a los resultados de preñez logrados con los embriones producidos. Los resultados por Donadora se movieron entre un 81.3% y 28.6% con un promedio de 50.8%. Mientras que por Toros fue de 63.6% a 16.7% con un promedio de 44.3%. Al evaluar los toros empleados se apreció que los 3 que mostraron los peores resultados de preñez coincidieron en ser, los que menor cantidad de embriones divididos y transferibles aportaron (Toro 7: 25, 39.1 y 14.1%; T8: 22.2, 14.3 y 8.9%; T9: 16.7, 31.1 y 5.4% respectivamente). Al emplear la mejor donadora con los peores tres toros, solamente se logró en promedio un 45% de división, 8.3 de embriones transferibles y 14.3% de preñez, mientras que al ser evaluadas las mejores cuatro donadoras fertilizadas con el mejor toro (Toro: 1), los resultados fueron de 54.8% de preñez, 70.6% de división y un 34.4% de los divididos alcanzaron la categoría de transferibles. De estos resultados se puede inferir la importancia del toro en la FIV, quien aparentemente posee mayor influencia que la donadora. No obstante, hay donadoras que generan poca cantidad de embriones transferibles, pero en contraste sus embriones aportan altos índices de preñez (>60%). Basándonos en estas observaciones recomendamos realizar ensayos de producción de embriones con ovarios de matadero para validar la eficiencia del toro antes de los programas de producción de embriones por aspiración folicular en hembras de alto valor genético ya que, aunque un toro posea altos índices de preñez en inseminación artificial, puede no tener el mismo comportamiento en FIV. Por otra parte, en las donadoras que aportan bajos porcentajes de división post inseminación o pocos transferibles, se deberán de aspirar mayor número de folículos para incrementar el número de ovocitos para FIV.

PALABRAS CLAVE: donadora de ovocitos, FIV, embriones divididos, transferibles, transferencia.

ABSTRACT. In order to evaluate some efficiency indices on in vitro bovine embryo production and transfer programs, the results achieved in 9 oocyte donors and nine bulls used for in vitro fertilization (IVF) were compared. In both cases, a decreasing order was established in reference to the pregnancy results achieved with the embryos produced. The results per donor moved between 81.3% and 28.6% with an average of 50.8%. While for Bulls it went from 63.6% to 16.7% with an average of 44.3%. When evaluating the bulls used, it was observed that the 3 that showed the worst pregnancy results coincided in being the ones that contributed the least amount of cleaved and transferable embryos (Bull 7: 25, 39.1 and 14.1%; T8: 22.2, 14.3 and 8.9% ; T9: 16.7, 31.1 and 5.4% respectively). When using the best donor with the worst three bulls, only an average of 45% division, 8.3 transferable embryos and 14.3% pregnancy were achieved, while when evaluating the best four donors fertilized with the best bull (Bull: 1), the results were 54.8% pregnancy, 70.6% cleavage and 34.4% of those cleaved reached the transferable category. From these results it can be inferred the importance of the bull in IVF, who apparently has a greater influence than the donor. However, there are donors who generate a small number of transferable embryos, but in contrast their embryos provide high pregnancy rates (>60%). Based on these observations, we recommend carrying out embryo production trials with slaughterhouse ovaries to validate the bull's efficiency before embryo production programs by follicular aspiration in females of high genetic value, since even though a bull has high pregnancy rates in artificial insemination, may not have the same behavior in IVF. On the other hand, in donors who provide low post-insemination division percentages or few transferable ones, a greater number of follicles should be aspirated to increase the number of oocytes for IVF.

KEYWORDS: oocyte donor, IVF, cleaved embryos, transferable, transfer.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 60 se conoce, que los ovarios de las hembras bovinas están capacitados para producir cientos de miles de ovocitos durante su vida reproductiva; sin embargo, el número de crías que se obtienen es muchísimo menor (Palma, 2008). La transferencia de embriones permite obtener un mayor rendimiento, de la producción ovárica de esas hembras. En la década de los 80 y principios de los años 90 numerosos fueron los estudios que se realizaron para conseguir que hembras de alta calidad genética, ovularán ovocitos después de un tratamiento hormonal (hiperestimulación ovárica o superovulación), se las inseminara con semen de un macho también de alta calidad genética y se lograra su fertilización de forma consistente y repetida (de Armas 2013 a).

Como es conocido la vaca es un animal uníparo lo que implica que libera en cada ciclo estral un solo óvulo que debe ser fecundado y desarrollado hasta el parto. Cada ciclo estral posee una duración promedio de 21 días, mientras que el nivel de fertilización de los óvulos es de aproximadamente del 80% y los porcentajes de recuperación por las técnicas no quirúrgicas disponibles aseguran solo entre un 60 y 80% de los embriones presentes en el útero (Palma, 2008). Con estos resultados solo podríamos obtener 10 embriones aptos para la transferencia al año y tendríamos que realizar 17 colectas a cada donadora, lo cual resultaría un trabajo muy difícil en la práctica (Palma 2008). De acuerdo con De Armas (2012) lo anteriormente planteado sumado a los altos costos en insumos, la imposibilidad de predicción de la respuesta y baja repetibilidad de los resultados ha ido disminuyendo en la práctica cotidiana, la producción de embriones por superovulación.

Como describe De Armas (2013 b), la aplicación de los procedimientos de producción de embriones por fertilización in vitro (FIV) en la reproducción bovina se ha incrementado en los últimos años y se emplean en programas de gran escala de producción comercial de embriones in vitro como publicó Viana (2022). Dentro de este concepto, la recolección de ovocitos es un paso necesario para poder llegar a establecer estos programas de FIV, pero la ventaja de poder ser realizada post mortem a partir de ovarios obtenidos en el matadero o en animales in vivo, con la ayuda de la aspiración folicular asistida por ecografía de forma reiterada y con alta repetibilidad en los resultados, ha influido en el incremento de su popularidad (Solis, 2017). Para poder producir embriones in vitro, primero debemos de obtener los ovocitos y luego conseguir la maduración de los mismos, la capacitación del semen que vamos a utilizar para fecundar, la fecundación y después el cultivo de los embriones obtenidos, hasta estadios transferibles (Rivera, 2013).

A pesar de que hay resultados de fertilidad disponibles en inseminación artificial de acuerdo con los toros que aportan el semen según Schneider *et al.*(1999) y Al Naib.*et al.* (2011); esto no indica que se puedan emplear exitosamente en el proceso de FIV por lo que no es una regla aplicable, ya que los mejores toros en IA no siempre son los que mayores índices de producción de embriones

o resultados de gestación aportan en la FIV tal como plantearon Palma y Sinowatz (2004). Sobre este tema se han realizado pocas investigaciones a nivel internacional (Ward *et al* 2001, Akyol *et al* 2014) y en Panamá no hay precedentes sobre este tema (Guerra *et al* 2013).

Los costos del empleo de las técnicas de producción de embriones resultan relativamente altos en cualquiera de los métodos que se empleen. No obstante, en el caso de la producción in vitro de embriones (PIVE), el gasto inicial de inversión de los laboratorios es el mayor y este es amortizado a un mediano plazo. Lógicamente en la medida que se produzcan más embriones por ciclo de FIV se abaratan los costos de producción y la recuperación de la inversión inicial sería más rápido y esto indirectamente abarataría los precios que deben pagar los productores por embrión producido al Laboratorio.

Como planteamos anteriormente la disminución de los costos por embrión producido están condicionados a la mayor generación de embriones que sean capaces de proveer altos índices de gestación. Por tal razón sin lugar a duda, para que nuestros productores puedan aprovechar esta poderosa herramienta de mejoramiento genético, los precios actuales por embrión producido deben de ser menos onerosos.

Evidentemente, fuera de las variantes en la técnica de PIVE empleadas o del tratamiento de procesamiento de los ovocitos o del semen, los medios y las condiciones de cultivo, los factores inherentes a las capacidades de los ovocitos de madurar, ser fertilizados y desarrollarse en embriones viables capaces de culminar en una gestación, están conectados directamente a la hembra que los donó (Moce y Graham 2008, Palma 2008, Ward *et al.* 2001). Pero por otra parte nos resulta imposible de ignorar la responsabilidad del semen empleado en la fertilización, influido lógicamente por el toro que lo generó. Estos conocimientos pudieran a su vez ayudar predecir los resultados esperados y hacer más eficiente la explotación de esta técnica según Sen (2015).

Por las razones anteriormente expuestas el poder valorar la importancia del papel que poseen ambos integrantes del proceso de PIVE, pudiera resultar en una garantía para incrementar los resultados de producción de embriones y gestaciones que lograría una intensificación en el uso de esta técnica en nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue desarrollado con la colaboración de la Hacienda Ecos del Porvenir situada en Cantagallo, Distrito de Alanje, en la Provincia de Chiriquí, la cual facilitó las donadoras de ovocitos, el semen empleado y las receptoras utilizadas en la transferencia de los embriones producidos.

En todos los casos la aspiración folicular y los procedimientos de PIVE fueron desarrollados por el mismo personal y bajo el mismo procedimiento de rutina del Laboratorio de FIV de la Empresa GERTEC, Panamá.

La selección de las receptoras, la transferencia de los embriones y el diagnóstico de gestación se desarrollaron por el mismo operador del Centro de Investigaciones en Biotecnologías Agropecuarias (CIBA), de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá.

Se evaluaron los resultados en producción de embriones durante dos meses consecutivos de trabajo (Septiembre y Octubre) y porcentajes de gestación logrados. Se emplearon 9 vacas donadoras de ovocitos de la raza Brahman entre 7 y 16 años y semen congelado en glicerol - yema de huevo, en pajillas de 0.5ml en centrales de IA certificadas en Estados Unidos, de 9 toros de la raza Brahman.

Los embriones producidos fueron transferidos en hembras de cruces lecheros (Pardo Suizo x Brahman), en el estadio de blastocisto luego de 7 días de la fertilización de los ovocitos colectados por aspiración folicular en las hembras donadoras. La sincronización de las hembras receptoras se inició un día antes de la colecta de los ovocitos en las hembras donadoras y consistió en la colocación de dispositivos intravaginales liberadores de progesterona + 2cc de benzoato de estradiol el día de inicio de tratamiento, 7 días más tarde se realizó el retiro del dispositivo, acompañado de la aplicación intramuscular de 2 cc de un análogo sintético de PGF2 α + 1 cc Cipionato de Estradiol + 330 UI de Gonadotropina Coriónica Equina. La transferencia de los embriones se realizó por la técnica no quirúrgica en las hembras sincronizadas a tiempo fijo (9 días después del retiro de los dispositivos intravaginales), previo diagnóstico de un cuerpo lúteo en uno de sus ovarios por vía transrectal, auxiliado por un ecógrafo para ginecología veterinaria.

El diagnóstico de gestación se practicó a los 45 días de la transferencia por palpación transrectal y confirmado por ecografía. Se evaluaron los resultados de ovocitos colectados, aptos para la fertilización in vitro, divididos post fertilización, aptos para la transferencia y gestaciones logradas. El análisis estadístico de estos registros se realizó empleando un análisis de comparación de proporciones Chi cuadrado a un nivel de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede apreciar en la Tabla 1 dentro de los toros estudiados se destacaron 2 toros que lograron altos rendimientos en división en cultivo (1 y 4) y a la vez también coincidieron en altos porcentajes en la producción de embriones transferibles lo que concuerda con lo publicado por autores como Eyestone y First (1989), Shi *et al.* (1990). y Sen (2015). Sin embargo, en los resultados de preñez debido a la diferencia en cuanto a la cantidad de transferencias realizadas por toros no se evidenció estadísticamente posibles diferencias. Del análisis estadístico se pudo apreciar

diferencias entre el toro 1 y el 8 para el parámetro de división con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Estos fueron los valores calculados de R-Square: 0.313381, Coef Var: 28.12784, Root MSE: 14.56937, Mean: 51.79697 para división embrionaria. Mientras que para la producción de embriones transferibles no se evidenciaron diferencias estadísticas y valores calculados de R-Square: 0.288232, Coef Var: 61.48926, Root MSE: 17.00271, Mean: 27.65152. En este estudio las desviaciones estándar fueron muy grandes por el poco número de réplicas en algunos toros, razón por la cual no se logran establecer diferencias estadísticas entre muchos de ellos, lo que fue debido a la selección en el uso de estos para la FIV o para ser transferidos por parte del propietario de la finca, lo que respondió al interés de este, de acuerdo con su programa de mejoramiento genético, sobre el cuál nuestro estudio no pudo hacer variaciones.

Tabla 1. Resultados por toro referente a la división en cultivo, producción de embriones transferibles y porcentaje de preñeces.

TORO	Ovocitos	Divididos		Transferibles		Transferido	Preñez	
	FIV	n.	%	n.	%	s	n.	%
1	276	174	63.0 ^a	119	43.1	33	21	63.6
2	85	39	45.9 ^{ab}	23	27.1	16	8	50.0
3	195	88	45.1 ^{ab}	23	11.8	13	6	46.2
4	166	97	58.4 ^{ab}	70	42.2	15	6	40.0
5	49	26	53. ^{ab}	12	24.5	11	4	36.4
6	98	42	42.9 ^{ab}	15	15.3	15	5	33.3
7	64	25	39.1 ^{ab}	9	14.1	4	1	25.0
8	146	52	14.3 ^b	13	8.9	9	2	22.2
9	111	35	31.1 ^{ab}	6	5.4	6	1	16.7
Totales	1190	578	48.6	290	24.4	122	54	44.3

Nota. Letras desiguales en la misma columna muestran diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

El mismo fenómeno afectó el análisis estadístico de la influencia de las hembras donadoras de ovocitos sobre los resultados de división en cultivo, transferibles (aptos para la TE) y porcentajes de preñez como sugirió Uribe *et al.* (2011). Sin embargo, si estudiamos los resultados solamente desde un punto de vista matemático, podemos encontrar que no hay grandes diferencias entre los porcentajes de ovocitos aptos para la FIV en referencia a la cantidad de ovocitos aportados por donadora, ni entre los porcentajes de división en cultivo (Tabla 2), a diferencia en los porcentajes de embriones aptos para la transferencia, donde hay resultados como en el caso de la donadora A (9.9%) vs la G (40.9%). Esta diferencia pudo haberse debido a la edad de las donadoras, en coincidencia con lo mencionado por diferentes autores (Tammassia *et al.* 2003, Baruselli *et al* 2021, Nogueira *et al* 2021) ya que la vaca A tenía 16 años vs la G con 7 años, los que han descrito a esta variable como una de las que más influyen en los resultados de la producción de embriones aptos para la transferencia.

Tabla 2. Resultados por donadora

Donadora	Edades	Ov. colectados	Aptos para FIV		Divididos		Aptos para TE		Transferencias	
			n.	%	n.	%	Prop.	%	Prop.	% Preñez
A	16	307	233	75.9	102	43.8	23/233	9.9	13/16	81.3
B	9	131	84	64.1	51	60.7	25/84	29.8	6/9	66.7
C	15	148	114	77.0	39	34.2	22/114	19.3	3/5	60.3
D	8	136	104	76.5	54	51.9	40/104	38.5	14/24	58.3
E	9	109	79	72.5	42	57.5	19/79	22.9	7/14	50.0
F	14	305	232	68.5	98	42.2	42/232	18.1	9/20	45.0
G	7	193	154	79.8	88	57.1	63/154	40.9	5/15	33.3
H	10	116	103	88.8	62	60.2	35/103	34.0	3/9	33.3
I	17	210	162	77.1	74	45.7	21/162	13.0	4/14	28.6
Totales		1655	1269	76.7	651	51.3	290/1269	22.9	64/126	50.8

En referencia a los resultados de gestación alcanzados, la gran diferencia entre la cantidad de transferencias realizadas por donadoras no permitió su análisis estadístico, aun así, los porcentajes logrados son satisfactorios, correspondiéndose con los publicados internacionalmente (Baruselli *et al.* 2016 y 2021, Park *et al.* 2021).

Tabla 3. Resultados al trabajar las mejores donadoras con el mejor toro

Don.	Toro	Ovocitos Colectados	Aptos para FIV/Divididos		Transferibles		% Preñez	
			Prop.	%	Prop.	%	Prop.	%
A	1	46	31/22	54.6	2/22	9.1	1/2	50.0
B	1	50	28/45	62.2	17/45	33.3	8/14	57.1
C	1	60	25/51	49.0	9/51	17.7	1/2	50.0
D	1	64	31/45	68.9	28/45	80.0	7/13	53.9
		220	115/163	70.6	56/163	34.4	17/31	54.8

Tabla 4. Resultados de la mejor donadora con los peores toros

Don.	Toro	Ovoc. en FIV	Emb. en FIV		Transferibles		% Preñez	
			Divididos	%	Prop.	%	Prop.	%
A	7	55	13/55	23.6	2/55	3.6	0/2	0%
	8	10	0/10	---	0/10	---	---	---
	9	58	38/58	65.5	9/58	15.5	1/5	25%
			51/123	41.5	11/123	8.9		14.3%

Tabla 5. Resultados de la peor donadora con los peores toros

Don	Toro	E. div	%	M	Bt	Bl	Bx	Be	Viab.	%	TE	%
I	8	14/28	50.0	2	3	3	0	0	8/28	21.4	1/3	33.3
I	9	11/27	40.7	0	2	1	0	0	3/27	11.1	0/3	---

Por otra parte, no coincidimos con lo publicado por Tamassia *et al* (2003) quienes encontraron que tanto las mejores y peores donadoras siempre fueron las mismas independientemente del semen empleado para la FIV. Como se puede apreciar en las tablas 3, 4, 5, donde al emplear la mejor donadora con los mejores toros se lograron altos resultados y lo contrario ocurrió al utilizar el semen de los peores toros con las mejores donadoras y como era de esperar si tomábamos la peor donadora con los peores toros, obtuvimos los más bajos resultados. Estos hallazgos están de acuerdo con lo planteado por Palma y Sinowatz en (2004) quienes observaron grandes diferencias entre toros referente a su capacidad de producir embriones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El toro empleado en la FIV mostró mayor influencia que la donadora en los resultados de la PIVE.
2. La hembra donadora también evidenció efectos en los resultados de PIVE.

Basándonos en nuestros resultados recomendamos realizar ensayos de producción de embriones con ovarios de matadero para validar la eficiencia del toro antes de iniciar los programas de producción de embriones por aspiración folicular en hembras de alto valor genético, ya que, aunque un toro posea altos índices de preñez en inseminación artificial, puede no tener el mismo comportamiento en FIV.

Por otra parte, en las donadoras que aportan bajos porcentajes de división post inseminación o pocos transferibles, se deberán de aspirar mayor número de folículos para incrementar el número de ovocitos para FIV al volver a realizarse aspiración folicular.

Recomendamos hacer un estudio con más cantidad de repeticiones por animales, tanto donantes como semen de toros y tratar de uniformar las cantidades de transferencias para llegar a resultados más precisos.

REFERENCIAS

- Akyol, N., Kizil, H., Satılmış, M., Karaşahin, T. (2014). Investigation of Bull Effect on in vitro Embryo Production. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.* 20(4), 561-564.<https://www.researchgate.net/publication/269813689> Investigation of Bull Effect on in vitro Embryo Production
- Al Naib, A., Hanrahan, J.P., Lonergan, P., Fair, S. (2011). In vitro assesment of sperm from bulls of high and low fertility. *Theriogenology.* 76 (1), 161- 167.

- Baruselli, P.S., Batista, E.O.S., Vieira, L.M., Ferreira, R.M., Gu, B.G. (2016). Factors that interfere with oocyte quality for in vitro production of cattle embryos: effects of different developmental & reproductive stages. *Anim. Reprod.* 13 (3), 264-272.
- Baruselli, P.S., Rodrigues, C.A., Ferreira, R.M., Sales, J.N.S., Elliff, F.M., Silva, L.G., Viziack, M.P., Factor, L., D'Occhio, M.J. (2021). Impact of oocyte donor age and breed on *in vitro* embryo production in cattle, and relationship of dairy and beef embryo recipients on pregnancy and the subsequent performance of offspring: A review. *Reprod Fertil Dev.* 34(2), 36-51. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35231233/>
- De Armas, R. (2012). Transferencia de embriones y su aceptación en la ganadería panameña. *Revista Investigación Agropecuaria*. Ed: FCA-UP. 1(1), 11-15.
- De Armas, R. (2013). a. Algunos resultados obtenidos en la superovulación y transferencia de embriones bovinos en Panamá. *Revista Investigación Agropecuaria*. Ed: FCA-UP. 1(2), 1-13
- De Armas, R. (2013). b. Influencia de la biotecnología animal como instrumento de innovación para el mejoramiento ganadero en Panamá. *Revista Investigación Agropecuaria*. Ed: FCA-UP. 1(2), 14-34
- Eyestone, W.H., First, N.L. (1989). Variation in bovine embryo development in vitro due to bulls. *Theriogenology*, 31 (1), 191.
- Guerra, R., Solis, A., De Armas, R. y García Yasmín. (2013). Validación de la prueba de unión de espermatozoides a zonas pelúcidas in vitro para estimar la aptitud fecundante de eyaculados de toros de la raza Holstein. *Revista Investigación Agropecuaria*. Ed: FCA-UP. 1(2), 35-44.
- Hillery, F.L., Parrish, J.J., First, N.L. (1990). Bull specific effect on fertilization and embryo development in vitro. *Theriogenology*. 33 (1), 249.
- Moce, E., Graham, J.K. (2008). In vitro evaluation of sperm quality. *Anim Reprod Sci*, 105 (1): 104-118.
- Nogueira, B. G. R., Souza, L. F. A. de Puelker, R. Z., Giometti, I. C., Firetti, S. M. G., Dias, T. S. dos S. B., & Castilho, C. (2021). Factors affecting the in vitro production of bovine embryos in a commercial program. *Research, Society and Development*, 10(2), e16110212264. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12264>
- Palma, G.A. (2008). *Biotecnología De La Reproducción*, 2º Edición. Ed: Reprobiofec, Buenos Aires, Argentina. p 280.
- Palma, G.A. and Sinowatz, F. (2004). Male and female effects on the in vitro production of bovine embryos. *Anat Histol Embryol*, 33(5), 257-62.
- Park, Y. S., Kong, J. H., Yi, J. K., Oh, D. yep, & Chung, K. H. (2021). Effects of donors and in vivo ovum pick-up conditions on in vitro embryo development in Korean native cow.

- Korean Journal of Veterinary Service. The Korean Society of Veterinary Service.
<https://doi.org/10.7853/kjvs.2021.44.4.227>
- Rivera, M.G. (2013). Fertilización in vitro. Manual de biotecnología reproductiva en bovinos.
<http://manualbiotecnologiareproductiva.blogspot.com/p/fert.html>
- Schneider, C.S., Ellington, J.E., Wright, Jr R.W. (1999). Relationship between bull field fertility and in vitro embryo production using sperm preparation methods with and without somatic cell co-culture. *Theriogenology*, 51 (6), 1085-1098.
- Sen, U. (2015). Effects of sperm from different bulls on developmental competence, blastosist quality and cell number of bovine embryos in vitro. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21, 339-344.
https://www.researchgate.net/publication/282313348_Effects_of_sperm_from_different_bulls_on_developmental_competence_blastosist_quality_and_cell_number_of_bovine_embryos_in_vitro
- Shi, D.S., Lu, K.H., Gordon, I. (1990). Effects of bulls on fertilization of bovine oocytes and their subsequent development in vitro. *Theriogenology*, 33 (1): 324.
- Solis, A. (2017). Dinámica folicular, colecta de ovocitos y producción de embriones in vitro en novillas de la raza fleckvieh en zona tropical de sabana. (Tesis de Doctorado), La Habana: Editorial Universitaria, 2017 – e-ISBN 978-959-16-3502-0.
[http://Dinamica%20folicular,%20colecta%20de%20-%20Solis%20Corrales,%20Alex%20\(Autor\)%3B%20D%20\(1\).pdf](http://Dinamica%20folicular,%20colecta%20de%20-%20Solis%20Corrales,%20Alex%20(Autor)%3B%20D%20(1).pdf)
- Tammassia, M., Heyman, Y., Lavergne, Y., Richard, C., Gelin, V., Renard, J.P, Chastant-Maillard, S. (2003). Evidence of oocyte donor cow effect over oocyte production and embryo development in vitro. *Reproduction*, 126 (5), 629-637, .23.
- Uribe, R., Mora, Juliana., Ramírez, Daniela. (2011). Influencia de la subespecie de la donadora en la cantidad de embriones totales obtenidos in vitro: estudio retrospectivo. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 6(2), 45-52.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1900-96072011000200005&lng=en&tlng=es
- Viana, J.H.M. (2022). A new milestone has been reached: Transfers of IVP embryos were over one million worldwide. *Embryo Technology Newsletter*, 40 (4), 22-40.
- Ward, F., Rizos, D., Corridan, D., Quinn, K., Boland, M. and Lonergan, P. (2001). Paternal Influence on the Time of First Embryonic Cleavage Post Insemination and the Implications for Subsequent Bovine Embryo Development In Vitro and Fertility In Vivo. *Molecular Reproduction and Development*, 60(1), 47-55.

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

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 como:

- **Plagium-<http://www.plagium.com/>;**

- Antiplagiarism <https://sourceforge.net/projects/antiplagiarismc/o>
- Plag Tracker <http://www.plagtracker.com/>

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 sus 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) 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, 6676-7508, 6601-0720 o e-mail: editor_riafca@up.ac.pa

Lo invitamos a visitarnos en ...

Portal de Revistas Científicas UP

**Revista
Investigaciones
Agropecuarias**



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

Revista Investigaciones Agropecuarias

Volumen 5, Número 2
Junio - Noviembre 2023

ISSN L 2644-3856

