

REVISTA

ISSN L 2644-3856

INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ | FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

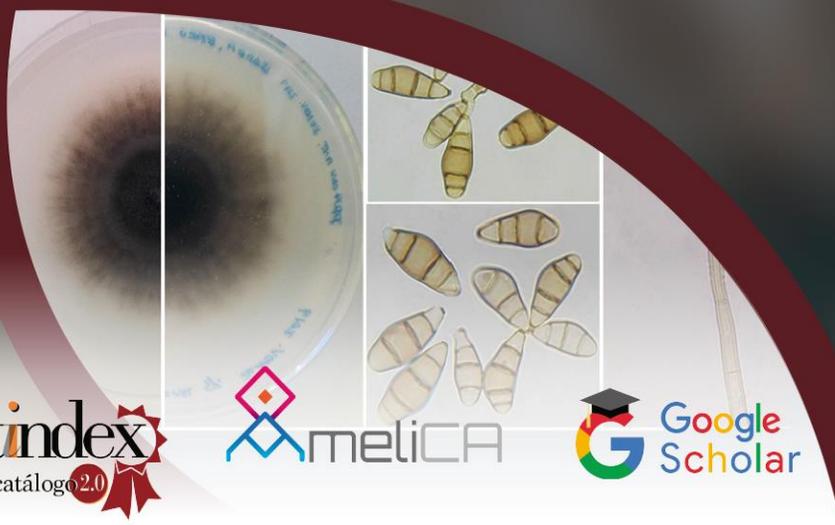
Vol. 6 No. 1 Diciembre 2023 - Mayo 2024

Publicación Semestral

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



Ciencias Agropecuarias



Disponible en:



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

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

ISSN L 2644-3856

VOLUMEN 6, N° 1
DICIEMBRE 2023 - MAYO 2024

PUBLICACIÓN SEMESTRAL

PANAMÁ



REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

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

Volumen 6, Número 1
Diciembre 2023 - Mayo 2024

ISSN L 2644-3856

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

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

Indexada en:



Disponible en:



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

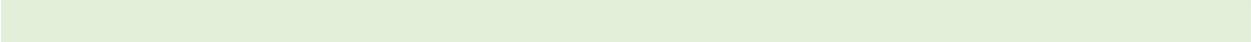
Para la versión electrónica adopta la Licencia de Creative Commons:
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)



INFORMACIÓN DE CONTACTO:

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

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ



Dr. Eduardo Flores Castro
RECTOR

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Dr. José Emilio Moreno
VICERRECTOR ACADÉMICO

Mgter. Arnold Muñoz
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

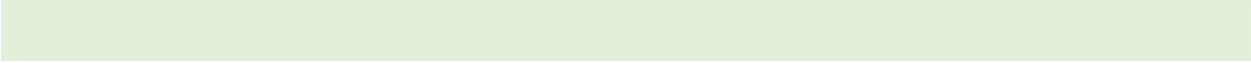
Mgter. Mayanín Rodríguez
VICERRECTOR DE ASUNTOS ESTUDIANTILES

Prof. Ricardo Him
VICERRECTOR DE EXTENSIÓN

Prof. José Luis Solís
**DIRECTOR GENERAL DE CENTROS REGIONALES UNIVERSITARIOS Y EXTENSIONES
DOCENTES**

Prof. Ricardo Parker
SECRETARIA GENERAL

Mgter Eldis Barnes Molinar
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



COMITÉ EDITORIAL

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

DIRECTOR DE LA REVISTA

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

 reinaldo.dearmas@up.ac.pa

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

EDITOR DE LA REVISTA

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

 juan.osorio@up.ac.pa

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

JEFE DE EDICIÓN

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

 carmen.rovira@up.ac.pa

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

CONSEJO EDITORIAL

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

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

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

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

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

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

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

EDITORES TEMÁTICOS

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



alex.morenom@up.ac.pa



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

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



fernando.galvez@up.ac.pa



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

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



reggie.guerra@up.ac.pa



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

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



reynaldo.vargas@up.ac.pa



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

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



enriqueasg@hotmail.com



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

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



enriqueasg@hotmail.com



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

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



zulay.suira@up.ac.pa



<https://orcid.org/>

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



luz.loria@up.ac.pa



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

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



carolina.guerra@hotmail.com



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

EQUIPO TÉCNICO

MARCACIÓN Y MAQUETACIÓN

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

 carmen.rovira@up.ac.pa

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

DISEÑO DE PORTADA

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

 noris.miranda@up.ac.pa

REVISIÓN DEL IDIOMA INGLÉS

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

 esperanza.diez@up.ac.pa

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

EDITORIAL

La *Revista Investigaciones Agropecuarias* presenta su Volumen 6 Número 1 que corresponde al período semestral de Diciembre 2023 – Mayo 2024.

En esta publicación se divulgan los resultados de investigaciones originales e inéditas de las Ciencias Agropecuarias, específicamente en las áreas de Fitopatología, Nutrición Animal, Suelos y Agua, Reproducción Animal y Economía Agrícola.

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 *dobles ciegos*, los cuales quedan a la disposición de la comunidad científica, profesional, estudiantil y productora.

De igual forma esperamos que esta publicación incentive la participación de otros investigadores que puedan contribuir con sus resultados en el desarrollo de tecnologías emergentes, el desarrollo rural, la seguridad agroalimentaria y la preservación del medio ambiente.



JUAN MIGUEL OSORIO RODRÍGUEZ, PhD

EDITOR

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INDICE

ARTÍCULOS EN ESTE NÚMERO	Págs.
DIAGNÓSTICO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN DE BOVINOS Y DE LA INFRAESTRUCTURA DE SACRIFICIO PARA LA INCLUSIÓN ECONÓMICA SECTORIAL EN BOCAS DEL TORO, PANAMÁ <i>Enrique A. Sánchez-Galán, Celia C. Cedeño, Edgar Chacón y Carlos Moreno</i>	10 - 21
EFFECTO DEL CRUZAMIENTO F1 EN LAS RESPUESTAS PRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE CORDEROS (<i>Ovis aries</i>) PELIBUEY X DORPER Y PELIBUEY X KATAHDIN <i>Héctor Cedeño, Yarina Ambulo, Reggie Guerra, Joseph Grajales-Cedeño, Enrique Sánchez-Galán, Tamara Pimentel y Meivis De Gracia</i>	22 - 38
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS A CUATRO CULTIVARES DE ARROZ (<i>Oryza sativa</i>) DE PANAMÁ <i>Angélica Alejandra Palma Araúz, José Carlos Ureta y Delfida Rodríguez Justavino.</i>	39 - 52
EFFECTS OF A SACCHAROMYCES CEREVISIAE FERMENTATION PRODUCT ON GROWTH PERFORMANCE OF LITTERS, MILK COMPOSITION AND HEMATOLOGY PROFILE OF PRIMIPAROUS SOWS <i>José Santiago, Pablo Montero-Prado, Roberto Saavedra, Edil E. Araúz y Richard Mudarra</i>	53 - 67
INFLUENCIA DEL ITH Y LA TEMPERATURA VAGINAL SOBRE EL ÍNDICE GESTACIONAL EN LA TRANSFERENCIA DE EMBRIONES FRESCOS O CONGELADOS PRODUCIDOS IN VITRO EN EL TRÓPICO <i>Reinaldo De Armas y Edil E. Araúz</i>	68 - 90
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD BUFFER Y DOSIS DE CaCO ₃ DE LOS SUELOS DEGRADADOS DEL DISTRITO DE NÜRÜM, CERRO PELADO, COMARCA NGÄBE BUGLE, PANAMÁ <i>Giancarlo A. Ruiz-Morales, Antonio Menéndez-Sierra y Anibal Fossatti-Carrillo</i>	91 - 106
COMPARACIÓN DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE SINCRONIZACIÓN PARA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL A TIEMPO FIJO EN CERDAS NULÍPARAS: RESULTADOS PRELIMINARES <i>Julián González, Alex Solís, Roberto Saavedra, Héctor Cedeño y Richard Mudarra</i>	107 - 114

DIAGNÓSTICO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN DE BOVINOS Y DE LA INFRAESTRUCTURA DE SACRIFICIO PARA LA INCLUSIÓN ECONÓMICA SECTORIAL EN BOCAS DEL TORO, PANAMÁ

DIAGNOSIS OF THE CATTLE EXTRACTION RATE AND SLAUGHTER INFRASTRUCTURE FOR SECTORIAL ECONOMIC INCLUSION IN BOCAS DEL TORO, PANAMA

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

Cedeño, Celia C. Universidad de Panamá, Dirección de Ingeniería y Arquitectura, Panamá. cristina161995@hotmail.com <https://orcid.org/0009-0004-9344-4299>

Chacón, Edgar. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua, Panamá. chaconpro@yahoo.com <https://orcid.org/0009-0008-3163-9874>

Moreno, Carlos. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), Panamá. cmoreno@oirsa.org <https://orcid.org/0009-0002-9456-9777>

*Autor de Correspondencia: enrique.sanchezg@up.ac.pa

DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4514>

Recibido: 19/04/2023

Aceptado: 25/05/2023

RESUMEN. Un diagnóstico de la Tasa de Extracción Coyuntural (TEC) de ganado bovino y de la infraestructura de sacrificio animal fue realizado en la provincia de Bocas del Toro, empleando análisis de datos, grupos de discusión, entrevistas y observación directa. Se encontró que la TEC de ganado bovino disminuyó de 18.84 % a 6.42 % desde el 2000 hasta el 2019, a pesar del aumento de las existencias de ganado de 35 400 a 48 100 durante el mismo período. Se evidenció la necesidad de establecer una planta de sacrificio para procesar la oferta de animales bovinos de la provincia, en condiciones de higiene, inocuidad y valor agregado. Se estima que unos 7 200 bovinos por año, producidos en Bocas del Toro, son sacrificados fuera de la provincia debido a la falta de infraestructura adecuada. Los productores de ganado bovino asumen costos de transporte y mermas, debido al traslado de los animales para su sacrificio hacia otras regiones distantes, lo que causa efectos adversos para la inclusión económica sectorial de la provincia. **PALABRAS CLAVE:** Existencias de ganado bovino, sacrificio de ganado bovino, tasa de extracción de ganado bovino, competitividad, inclusión económica.

ABSTRACT. A diagnosis of the cattle extraction rate and the animal slaughter infrastructure was carried out in the province of Bocas del Toro, using data analysis, focus groups, interviews, and direct observation. It was found that the cattle extraction rate decreased from 18.84 % to 6.42 % from 2000 to 2019, despite an increase in livestock stocks from 35 400 to 48 100 during the same period. The need to establish a slaughter plant to process the supply of bovine animals in the province, in conditions of hygiene, safety, and value-added, was evidenced. It is estimated that 7 200 bovines per year produced in Bocas del Toro are slaughtered outside the province due to the lack of adequate infrastructure. Producers assume transport costs and weight losses, due to the transportation of animals for slaughter in other distant regions, which cause adverse effects for the sectoral economic inclusion of the province.

KEYWORDS: Beef cattle stocks, beef cattle slaughter, beef cattle extraction rate, competitiveness, economic inclusion.

INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2018), la Población Económicamente Activa (PEA) de la provincia de Bocas del Toro (República de Panamá) es de 63 617 personas, de las cuales el 31 % se ocupan en el sector primario, correspondiente a 20 294 personas. Esta cifra es significativa al considerar que, a nivel nacional, la PEA ocupada en el sector primario es del 17 %, lo que revela la importancia del sector primario para la generación de empleo en la provincia.

En 2019, la contribución económica de la provincia de Bocas del Toro alcanzó 581.70 millones de balboas de los 43 032.80 millones que produjo el país, lo que corresponde a una contribución porcentual de 1.35 % al Producto Interno Bruto (PIB). Al tomar en cuenta la composición del PIB de Bocas del Toro en 2019, se puede estimar que el 23.80 % se generó en el sector agropecuario, a través de las actividades de agricultura, ganadería, caza y silvicultura (INEC, 2019a).

Según datos del INEC, en 2018, la actividad de ganadería bovina en la provincia de Bocas del Toro registró existencias de 48 600 cabezas de ganado. Del dato anterior, aproximadamente el 80.70 % del ganado se destinó a la actividad de cría, 18.30 % a ceba y 1.0 % a la producción de leche (INEC, 2019b).

Para el año 2020, se registraron 42 900 cabezas de ganado bovino (INEC, 2020a). El sacrificio anual fue de 2 825 cabezas, de las cuales 1 892 se contabilizaron en el distrito de Changuinola, 381 en Chiriquí Grande, 361 en Almirante y 191 en Bocas del Toro (distrito) (INEC, 2020b). El total se distribuyó en 2 082 machos y 743 hembras (MIDA, 2020).

La Tasa de Extracción Coyuntural (TEC) se obtiene de la proporción matemática del número de sacrificios divididos por el número de existencias de ganado bovino. En 2020 la TEC de la provincia de Bocas del Toro fue de 6.69 %, cifra que está muy por debajo del promedio nacional para ese año, la cual se determinó en 22 %.

Se tiene evidencia sobre el estrés relacionado a la etapa previa al sacrificio, por ejemplo, la manipulación y el transporte tienen efectos sobre el bienestar animal (Bulitta, 2015). Hernández et al. (2013) exponen que la calidad de la carne está determinada por sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas, las cuales dependen de factores como el sistema de producción, la raza, la alimentación, el manejo *pre-mortem* de los animales y de la carne (*post-mortem*); el manejo *pre-mortem* es crucial para minimizar el estrés fisiológico de la especie y los factores que lo causan, tales como el ayuno, el transporte, la espera y el aturdimiento, ya que se ve reflejado en la calidad de la carne y sus parámetros (pH, conductividad, capacidad de retención de agua y vida en anaquel).

Las largas distancias de transporte causan impactos en el bienestar de los animales y, por consecuencia, en la calidad e inocuidad de la carne, acarreando pérdidas económicas (Romero et al., 2012). Mach et al. (2008) reportaron efectos del transporte sobre el pH de la carne; un pH elevado favorece el desarrollo de microorganismos, afectando su conservación y disminuyendo su vida útil. Por otro lado, el transporte de largas distancias tiene efectos sobre la pérdida de peso en bovinos macho, Warris et al. (1995) reportaron pérdidas de peso vivo del 4.6 % a las cinco horas, 6.5 % a las diez horas y de 7.0 % a las 15 horas de transporte; resultados similares a los de Earley et al. (2010).

Por tales motivos, este trabajo de investigación planteó el objetivo de diagnosticar la situación de la TEC de ganado bovino en la provincia de Bocas del Toro, incluyendo las características de la oferta de ganado en pie y del sacrificio de los animales, con la finalidad de exponer las necesidades reales de la provincia en la materia, por parte de los actores claves.

METODOLOGÍA

Diseño

El estudio es de tipo observacional y se desarrolló a través de métodos científicos del nivel descriptivo y con método mixto de investigación.

Delimitación geográfica y temporal

En el plano geográfico se consideró la provincia de Bocas del Toro, en especial el distrito de Changuinola. En el temporal, la investigación documental integró datos históricos de 1999 a 2019, a través de una colecta de datos de carácter longitudinal, en específico, las variables existencias y el sacrificio de cabezas de ganado bovino. La investigación *in situ* se realizó en los distritos de Changuinola y Almirante, del miércoles 29 de septiembre al 2 de octubre de 2021, y la recolección de datos fue de corte transversal.

Recolección de los datos

Para esta investigación se recurrió a la investigación documental de datos secundarios de dos variables, las existencias y el sacrificio de ganado bovino a nivel de la provincia de Bocas del Toro. La data utilizada se encontró en los repositorios institucionales del INEC y del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA).

Se consideraron métodos de recolección de datos primarios, a partir de la interacción con las partes, mediante la técnica de grupos de discusión, entrevistas y la observación directa durante las visitas técnicas a cuatro fincas de la provincia y a la planta de sacrificio de Changuinola (comúnmente denominada “Matadero de Changuinola”).

La gira técnica se basó en dos tipos de actividades, las cuales fueron reuniones y visitas de campo. Las reuniones tuvieron la finalidad de interactuar con los actores claves del sector, y se dividieron en dos grupos de discusión, a saber: 1) instituciones y autoridades locales; y 2) productores de ganado en pie; los resultados representan las ideas más consistentes de los intercambios. Las visitas de campo tuvieron la finalidad de que el equipo investigador entrevistara a productores de ganado en pie y observara, de primera mano, parte de la realidad productiva y la infraestructura de la planta de sacrificio existente en el distrito de Changuinola, donde se registra el 67 % del sacrificio de la provincia.

Análisis de los datos

Los datos secundarios fueron analizados mediante proporciones y porcentajes, con el fin de calcular la variación absoluta y relativa de los cambios de las variables en el tiempo. La información resultante se dispuso en tablas y gráficos para su análisis e interpretación.

Para relacionar las existencias y el sacrificio se utilizó el concepto de TEC, el cual se determina mediante el cociente del flujo producido entre el *stock* en el tiempo especificado (López et al., 2016). A continuación, se plantea la fórmula del cálculo:

$$TEC = \frac{\text{Sacrificio de bovinos}}{\text{Existencias de bovinos}} \times 100$$

Los datos primarios se organizaron y fueron dispuestos en una ficha de recolección de datos colectiva. Posteriormente, se analizaron por el equipo, a partir de la sustentación de cada integrante y la discusión en equipo, con el propósito de generar la descripción multidisciplinaria de la línea base diagnóstica. De esta manera, se obtuvieron dos bloques de información, los resultados que muestran la realidad construida y la discusión, la cual incluye el juicio de valor sobre los hallazgos.

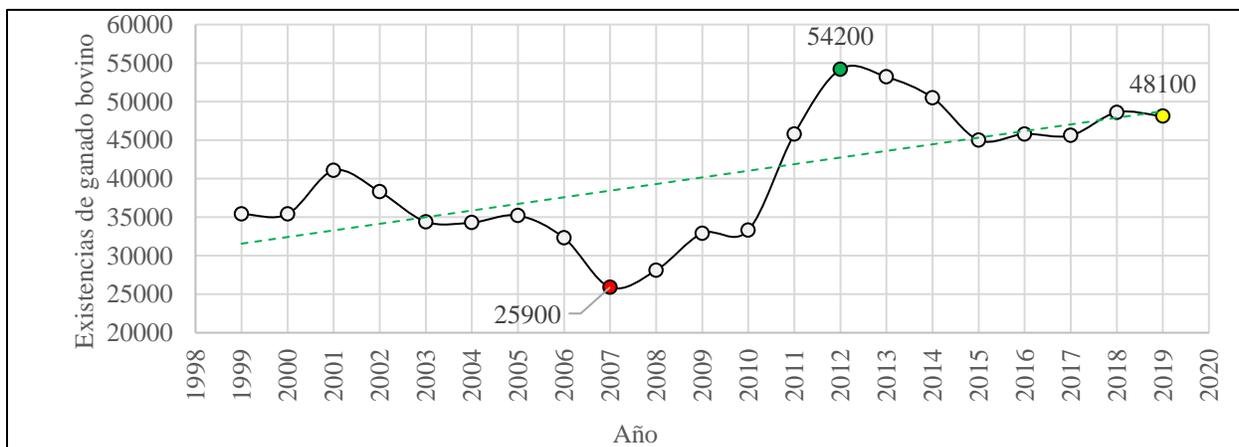
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Situación de la producción bovina en la provincia de Bocas del Toro

En la Figura 1 se puede observar el comportamiento de las existencias de ganado bovino en la provincia. El máximo fue alcanzado en 2012, con 54 200 cabezas y el mínimo en 2007 con 25 900. En 2019, las existencias se contabilizaron en 48 100; en los últimos seis años de la serie (2014 - 2019), resalta una tendencia hacia la disminución. Al comparar el 2014 con 2019, se evidencia una variación absoluta de 2 400 animales menos en 2014, lo que equivale a una variación relativa de -4.75 %. No obstante, al analizar la serie completa se percibe una tendencia hacia el alza de 35 400 bovinos en el periodo inicial (1999) de análisis y 48 100 al final (2019).

Figura 1

Existencias de ganado bovino en Bocas del Toro: 1999 - 2020.



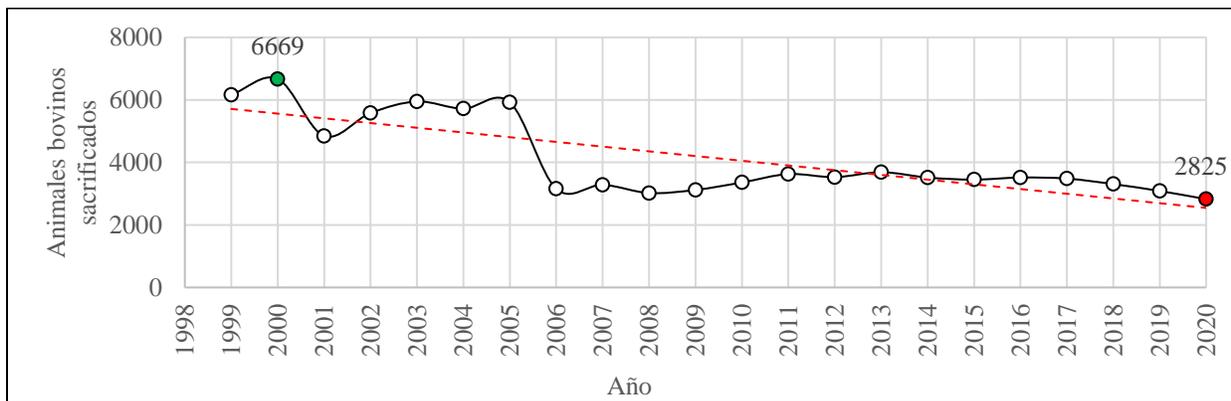
Fuente: INEC (2019b).

Al analizar los últimos siete años (2014 - 2020) se observa una tendencia hacia la disminución en el sacrificio de bovinos. Al comparar los extremos (2014 y 2020), se constata que el sacrificio disminuyó en un 20 %, lo equivalente a 690 animales menos.

En la Figura 2 se observa la dinámica del sacrificio de ganado bovino en la provincia de Bocas del Toro, para la serie histórica de 1999 - 2020. El máximo fue alcanzado en el 2000 con 6 669 bovinos sacrificados, el mínimo fue en 2020 con 2 825.

Figura 2

Sacrificio de ganado bovino en Bocas del Toro: 1999 - 2020.

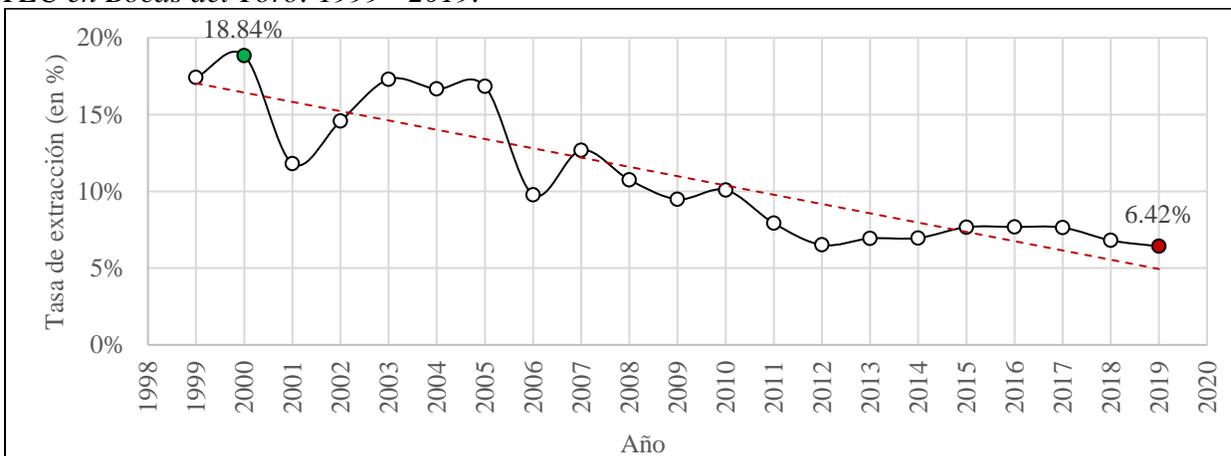


Fuente: MIDA (2020).

Para 2019, la TEC de Bocas del Toro presentó su valor mínimo (6.42 %), al considerar la relación de 3 086 bovinos sacrificados de una existencia de 48 100. En el periodo analizado (1999 - 2019), en la Figura 3 se muestra gráficamente una tendencia hacia la disminución (ecuación de predicción de la TEC, en función de la serie de tiempo anualizado: $y = -0.006x + 0.1764$; $R^2 = 0.77$; regresión lineal), principalmente, debido al decrecimiento de los niveles de sacrificio en la provincia desde el año 2000, a pesar del incremento relativo de las existencias de ganado bovino.

Figura 3

TEC en Bocas del Toro: 1999 - 2019.



Fuente: Elaborado por los autores con base en INEC (2019a) e INEC (2020b).

Al comparar el valor de 6.42 %, para 2019, con la TEC nacional para el periodo 2013 - 2020 (20 a 25 %) (INEC, 2020a; INEC, 2020b), se denota que la TEC de la provincia está muy por debajo del promedio nacional, por lo que se deduce que otras plantas de sacrificio están absorbiendo el sacrificio bovino de los animales de Bocas del Toro. Por ejemplo, para 2019, de los 341 571 bovinos sacrificados a nivel nacional, la provincia de Los Santos abarcó el 49.90 % (103 386), sin embargo, concentró el 13.83 % (207 200) del total de existencias de cabezas de ganado bovino (1 498 700), por debajo de las existencias de las provincias de Chiriquí (21.27 %; 318 800), Darién (14.33 %; 214 700) y Veraguas (15.49 %; 232 100).

En la Tabla 1 se observa la TEC, según provincia para 2019. Se aprecia que las provincias de Darién (0.68 %), Coclé (4.26 %) y Bocas del Toro (6.42 %) tienen los valores más bajos, en comparación con otras provincias. Por otro lado, Herrera (39.16 %), Los Santos (49.90 %) y Panamá (50.19 %) representan las tasas superiores.

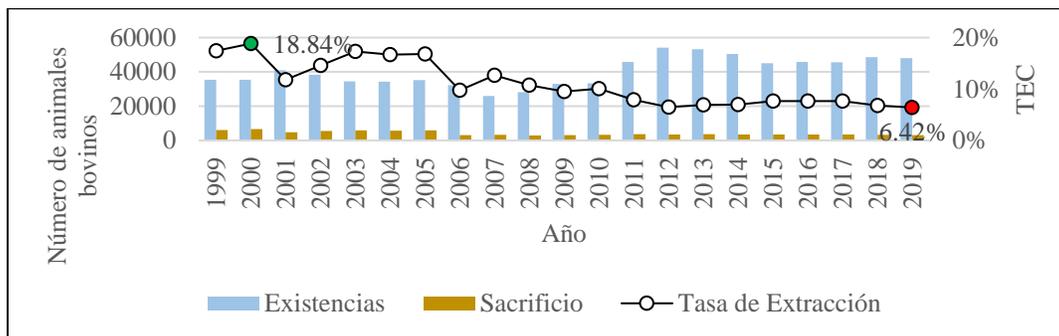
Tabla 1
TEC, según provincia: 2019.

Provincia	Existencias de bovinos	Sacrificio de bovinos	TEC provincial
Chiriquí	318 800	78 791	24.71 %
Veraguas	232 100	48 825	21.04 %
Darién	214 700	1 450	0.68 %
Los Santos	207 200	103 386	49.90 %
Coclé	119 400	5 085	4.26 %
Panamá	92 100	46 227	50.19 %
Herrera	89 700	35 125	39.16 %
Panamá Oeste	84 400	9 977	11.82 %
Colón	74 800	9 619	12.86 %
Bocas del Toro	48 100	3 086	6.42 %

Fuente: Elaborado por los autores con base en INEC (2019b) e INEC (2020b).

Darién y Coclé presentan las cifras de TEC más bajas, no obstante, el caso de Bocas del Toro toma relevancia cuando se analizan las características accidentadas, sinuosidad y las distancias por recorrer en su acceso por tierra, para el envío de animales al sacrificio fuera de la provincia.

Figura 4
Análisis gráfico comparativo entre las existencias, el sacrificio y TEC en Bocas del Toro: 1999 - 2019.



Fuente: elaborado por los autores con base en INEC (2019b) e INEC (2020b).

A pesar del incremento en las existencias, al analizar la TEC se permite deducir que una gran parte de los animales de Bocas del Toro no está siendo sacrificada dentro de la provincia, pues en años anteriores la tasa de extracción representó prácticamente el triple de la cifra actual (18.84 % en 1999; 6.42 % en 2019) (ver Figura 4).

Reunión de grupos de discusión

A continuación, en la Tabla 2 se presenta la información recolectada de los grupos de discusión con las autoridades locales y representantes de las instituciones públicas, y con los productores de ganado bovino en pie.

Tabla 2

Ideas principales recolectadas en las sesiones de grupos de discusión.

n	Grupo de discusión	Número de participantes	Ideas principales
1	Autoridades locales y representantes de las instituciones públicas	12	<p>Existe una necesidad histórica de contar con una planta de sacrificio que cumpla con las exigencias de higiene e inocuidad.</p> <p>En ninguna de las plantas de sacrificio de la provincia se agrega valor con el proceso de destace.</p> <p>Considerar solamente el sacrificio sería un error, porque el negocio y sostenimiento de la actividad está en la agregación de valor.</p> <p>A Bocas del Toro ingresa una gran cantidad de carne destazada proveniente de otras provincias.</p> <p>Las cadenas de supermercados establecidas en Bocas del Toro no comercializan carne de la provincia.</p> <p>A pesar de los costos y pérdidas en que incurrir los ganaderos, una parte considerable termina por embarcar sus animales para sacrificarlos fuera de la provincia, porque no existe otra opción.</p>
2	Productores de ganado de bovino en pie	17	<p>Históricamente la planta de sacrificio fue municipal, sin embargo, desde 2019 la administración la ejerce una sociedad anónima la cual se creó desde las bases de las organizaciones de ganaderos.</p> <p>Los productores alegan que las cadenas de supermercados del área venden carne importada o procedente de otros mataderos nacionales.</p> <p>Que la agregación de valor es el camino para levantar el sector ganadero local, pues ofrecer solo el sacrificio no es económicamente viable.</p> <p>Los ganaderos tienen el objetivo de abastecer el mercado de la provincia con animales de la provincia, pero para ello se requiere contar con una planta que cumpla con las condiciones adecuadas.</p>

Visitas de campo

En la Tabla 3 se presentan las ideas principales de la información recolectada en las entrevistas a administradores de fincas de producción de ganado bovino en pie y de la planta de sacrificio de Changuinola.

Tabla 3*Ideas principales de las entrevistas.*

n	Lugar de visita de campo	Cargo del entrevistado	Ideas principales
1	Planta de sacrificio de Changuinola	Administrador	<p>En 2019, la planta de sacrificio fue rescatada por los productores de ganado bovino, quienes solicitaron la administración del matadero municipal de Changuinola para ofrecer el servicio a los productores de ganado en pie.</p> <p>La cuota de sacrificio anual para el 2020 fue de 1 236 bovinos, 326 porcinos y tres bufalinos. En términos semanales, se sacrificaron 45 reses.</p> <p>La planta de sacrificio de Changuinola está establecida en un área de 1.5 ha y se sacrifican aproximadamente 42 reses por semana, en promedio.</p> <p>La tarifa cobrada por el sacrificio de animales bovinos es de 45 USD por cada uno.</p> <p>Por falta de recursos y apoyo institucional la planta de sacrificio no reúne las condiciones ambientales adecuadas e incluso administrativas para brindar un servicio óptimo.</p> <p>El recinto no cuenta con sistema de refrigeración, ni con sala de destace.</p> <p>Las tinas de oxidación están a cielo abierto y se encuentran colapsadas.</p> <p>Se presenta un problema en el manejo de subproductos y desechos sólidos.</p>
2	Finca Agro Ganadera Caribe	Administrador	<p>La finca tiene una superficie de 1,500 ha y su hato es de aproximadamente 900 bovinos. La finalidad del sistema ganadero es el engorde o ceba en un 40 % y un 60 % es destinado a la cría.</p> <p>Regularmente sacrifican de 18 a 20 reses por mes, a un precio de 34 balboas de servicio de sacrificio por res y un costo de flete de 800 USD a Divisa y 1 200 USD a Juan Díaz por el lote de animales. Las mermas de peso se aproximan a 35 kg por animal y su equivalente en valor económico a precios de mercado (2021), es decir, 77 USD (2.20 USD /kg).</p> <p>Se estima que de la provincia deben salir unos 800 animales por mes, para ser sacrificados en otros mataderos.</p>
3	Finca Río Negro	Administrador	<p>La finca tiene una superficie de 600 ha y posee un total de 550 reses aproximadamente.</p> <p>El sacrificio de sus animales lo hacen fuera de la provincia de Bocas del Toro, con una frecuencia mensual y un sacrificio de diez reses.</p> <p>El costo de transporte de Changuinola hasta la planta de sacrificio de Chiriquí, ubicada en David a unos 200 km de distancia, oscila entre 400 - 500 USD por camión de 18 animales, o de 22 - 27 USD por animal).</p> <p>En muchas ocasiones la administración prefiere vender los animales en pie en la finca, aunque sea a un precio más bajo, pues así no asumen el costo de transporte ni las mermas de peso, los cuales castigan la ganancia por animal.</p>
4	Finca Agro Ganadera del Istmo	Administrador	<p>La finca tiene 2 700 reses en total y un sacrificio de 100 reses por mes aproximadamente.</p> <p>El sacrificio lo hacen fuera de la provincia, regularmente en el Matadero de Juan Díaz, situado en la Ciudad de Panamá a 600 km de distancia por carretera y a 9 horas y 30 minutos de trayecto.</p> <p>El administrador mencionó que sacrifican en otras provincias porque las plantas de sacrificio en Bocas del Toro no cuentan con la capacidad, ni la inocuidad para procesar la demanda de sacrificio de los productores de la provincia.</p>
5	Finca La Esperanza	Propietario y administrador	<p>La superficie es de 160 ha y tiene un sacrificio entre 7 y 10 animales al mes.</p> <p>Prefiere vender los animales en pie en la puerta de su finca para evitar asumir los costos de transporte y las pérdidas.</p>

Análisis de la información recolectada en contexto

En 2020, el sacrificio que se manejó en la provincia estuvo por el orden de los 2 800 animales bovinos, de los cuales 1 300 (46.42 % del total) se contabilizaron en la planta de sacrificio de Changuinola, el cual es administrado por una sociedad anónima, relacionada a una organización

de ganaderos. Por otro lado, las visitas a las fincas de referencia permitieron confirmar que una gran cantidad de animales de la provincia se sacrifican en otros mataderos (p. ej.: Los Canelos, Juan Díaz y Chiriquí). Según fuentes entrevistadas, se estima que aproximadamente 800 animales salen mensualmente de la provincia, principalmente, por la carencia de una planta de sacrificio que cumpla con las cuotas de sacrificio y las exigencias de inocuidad, higiene y refrigeración, para garantizar una cadena agroalimentaria eficiente.

En un escenario conservador, si se considera el sacrificio actual anual de la planta de sacrificio de Changuinola (1 300 bovinos) y la declaración de la fuga al 75 % hacia otras plantas de sacrificio (7 200 bovinos), se puede realizar una estimación del sacrificio potencial de la nueva planta. Las cabezas de ganado bovino potencialmente disponibles para el sacrificio serían unas 8 500 (708 mensuales), lo que corresponde a una TEC de 17.60 %, aproximándose a los valores reales de la tasa de extracción a nivel nacional (20 a 25 %) (INEC, 2019b; INEC, 2020b) para los periodos comprendidos entre 2013 - 2020.

La situación actual de la planta de sacrificio de Changuinola no se corresponde con un modelo competitivo para los agentes económicos (productores y consumidores) del mercado de la carne de la provincia. La falta de condiciones de higiene e inocuidad impiden que aproximadamente 7 200 bovinos al año sean sacrificados en la provincia, lo que causa pérdidas económicas por las mermas en el peso de los animales y la disminución de la calidad de la carne, producto de las largas horas de acarreo, y la inclusión de costos elevados de transporte. En definitiva, productores e intermediarios asumen costos no deseados y también dejan de percibir ingresos económicos.

Veloso et al. (2001) exponen que los determinantes de competitividad de una planta de sacrificio animal son la estructura del mercado y el grado de competencia local en base a la calidad, certificación de higiene e inocuidad, la diferenciación de los productos, el potencial de expansión y de integración vertical. Por otro lado, Bauer et al. (2016) añaden que, para el desarrollo de los territorios en base a la competitividad de una economía globalizada, es necesario crear procesos de producción eficientes, posicionarse en el mercado, reducir los riesgos, minimizar los costos de transacción y desarrollar proyectos de economía de escala.

Desde un punto de vista de competitividad, la provincia puede prepararse para abastecer el mercado local, incluyendo tierra firme y el área insular, principalmente por su ventaja comparativa al considerar los costos relacionados al transporte de mercancía que provienen fuera de la provincia. Esta condición puede crear una oportunidad económica para los actores de la cadena agroalimentaria de la carne en la provincia, a fin de competir en precio con los productos similares de otras provincias.

Actualmente, los supermercados situados en Changuinola no reciben carne producto del sacrificio local, sino que se abastecen de carne destazada de otras latitudes, cuando se pudieran aprovisionar a nivel local. Para ello, será necesario la integración y estimulación de los eslabones locales de la cadena de la carne, es decir, proveedores de insumos, productores de ganado, procesadores (plantas de sacrificio y destace), distribuidores, comercializadores y consumidores.

Los actores claves manifestaron de forma unánime su acuerdo para que la provincia de Bocas del Toro cuente con una nueva planta de sacrificio. La postura colectiva integra una sala de destace en

el modelo de negocio y el cumplimiento del Decreto 121 del 2016 del Ministerio de Salud (MINSa), que dicta el Reglamento de Inspección Sanitaria para Carne Bovina en la República de Panamá. Según CECOM-RO (2018), la provincia requiere apoyo en función de su potencial y sus características para mejorar la productividad e incorporar los productos en los canales de mercado de forma competitiva.

Una nueva planta de sacrificio y sala de destace son condiciones *sine qua non* de competitividad para la provincia, específicamente, por la agregación de valor, el cumplimiento de las normativas de inocuidad e higiene, y la cadena de frío que permita ampliar las áreas de distribución e incrementar la vida útil del producto. Según Stanciu et al. (2015), el valor agregado en el procesamiento de la carne se logra mediante procesos tecnológicos relacionados a los tipos de cortes y de envases, los cuales determinan la diferenciación en base a especificaciones de calidad y condiciones para su transportación y comercialización, además del aprovechamiento de subproductos de la faena.

CONCLUSIONES

A pesar de la tendencia hacia el alza en las existencias de bovinos en Bocas del Toro, el diagnóstico de la TEC determinó una tendencia hacia la disminución, básicamente por la baja capacidad de sacrificio que se ha mantenido en el tiempo. La infraestructura actual no permite procesar el sacrificio de la producción total de ganado bovino en pie de la provincia, por ello, la mayor parte del ganado bovino bocatoreño se sacrifica en plantas ubicadas en otras provincias.

La falta de una planta de sacrificio adecuada, a las exigencias sanitarias y a la demanda del mercado, es una situación no deseada con efectos negativos para la economía de la provincia y la actividad ganadera, específicamente, por el incremento de costos y mermas que asumen los productores, y por los ingresos que se dejan de percibir en la cadena agroalimentaria de la carne bovina, al no agregar valor y no contar con cadena de frío.

El compromiso y la militancia en las organizaciones de productores de ganado bovino en Bocas del Toro serán determinantes para establecer una estrategia sectorial para la inclusión productiva y económica, mediante el establecimiento de infraestructura de sacrificio que cumpla con la capacidad de absorber la producción bovina de la provincia, en condiciones de sanidad e inocuidad y de agregación de valor, a fin de incrementar la competitividad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el respaldo de la investigación a la representación del Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA) en Panamá, a través de su representante el Dr. Gilberto Real Castillo. También, a los colaboradores del MIDA y del MINSa. Finalmente, a los productores de ganado bovino que formaron parte importante de los actores en el proceso de investigación.

REFERENCIAS

- Bauer, M., Ismailova, A., Okutaeva, S. & Bencheva, N. (2016). Development of regional meat cluster as a means to raise the competitiveness of livestock industry. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 11(7): 2057-2070. <https://www.iejme.com/article/development-of-regional-meat-cluster-as-a-means-to-raise-the-competitiveness-of-livestock-industry>
- Bulitta, F., Aradom, S. & Gebresenbet, G. (2015) Effect of Transport Time of up to 12 Hours on Welfare of Cows and Bulls. *Journal of Service Science and Management*, 8, 161-182. doi: [10.4236/jssm.2015.82019](https://doi.org/10.4236/jssm.2015.82019)
- CECOM-RO. (2018). Diagnóstico Visión 2050. Elaboración de visiones a 2050 para los Sistemas Regionales de Innovación para la Competitividad de la provincia de Bocas del Toro. https://www.senacyt.gob.pa/wp-content/uploads/2019/04/Visi%C3%B3n_Bocas_del_Toro_2050_DEF.pdf
- Earley, B., Murray, M. & Prendiville, D.J. Effect of road transport for up to 24 hours followed by twenty-four hour recovery on live weight and physiological responses of bulls. *BMC Vet Res* 6, 38 (2010). <https://doi.org/10.1186/1746-6148-6-38>
- Hernández, J., Aquino, J. y Ríos, F. (2013). Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh*, ISSN-e 2007-0373, Vol. 7, N°. 2, 2013, págs. 41-64. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4726621.pdf>
- INEC. (2018). Encuesta de Propósitos Múltiples: marzo 2018. Disponible en: https://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=38&ID_PUBLICACION=892&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=5
- INEC. (2019a). Cifras estimadas del Producto Interno Bruto provincial. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1032&ID_CATEGORIA=4&ID_SUBCATEGORIA=26
- INEC. (2019b). Panamá en cifras: año 2015 – 2019. Cuadro 1. Existencia de ganado vacuno en la república, por provincia y comarca indígena: años 1999-2019. <https://www.inec.gob.pa/archivos/P0705547520201113144131CUADRO%201.pdf>
- INEC. (2020a). Panamá en cifras: año 2016 – 2020. Existencia de ganado vacuno, porcino y gallinas en la República: Años 2016-20. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1146&ID_CATEGORIA=17&ID_SUBCATEGORIA=45
- INEC. (2020b). Panamá en cifras: año 2016 – 2020. Sacrificio de ganado vacuno en la República, según provincia y algunos distritos: Años 2016-20. https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1146&ID_CATEGORIA=17&ID_SUBCATEGORIA=45

- López, R., Dearma, S., Ceballos, S. y Cerminatti, N. (2016). La tasa de extracción Un indicador... ¿o un modelo?. *Revista Agromensajes*, núm. 45, pp. 42-46. <http://hdl.handle.net/2133/13235>
- Mach, N., Bach, A., Velarde, A. & Devant, M. (2008). Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science*, 78 (3): 232-238. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.06.021>
- MIDA. (2020). Cuadro. Sacrificio de ganado vacuno en la república, por provincia, según sexo: años 1994-2020. <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/09/SACRIFICIO-VACUNO-1994-2020.pdf?csrt=18441328785310514984>
- Romero, M. y Sánchez, J. (2012). Bienestar animal durante el transporte y su relación con la calidad de la carne bovina. *Rev. MVZ Córdoba*, 17 (1): 2936-2944. <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v17n1/v17n1a18.pdf>
- Stanciu, S., Rizea, R. & Ilie, A. (2015). Study on the Competitiveness of the Romanian Meat Processing Industry. *Amfiteatru Economic*, Vol. 17 (9): 1331-1345. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/168981/1/aej-v17-sn9-p1331.pdf>
- Veloso, P., Fernandes, M., Carvalho, A. & dos Santos, J. (2001). Factors conditioning the competitiveness of the slaughter and swine meat processing industry in the Minas Gerais state. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, vol. 39 (1): 167-188. <https://revistasober.org/article/5d8b9a280e8825842bf2a2f5>
- Warriss, P., Brown S., Knowles, T., Kestin, S., Edwards, J., Dolan SK y Phillips AJ. (1995). Effects on cattle of transport by road for up to 15 hours. *Vet Rec.* 136(13): 319-23. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7604507/>

EFECTO DEL CRUZAMIENTO F1 EN LAS RESPUESTAS PRODUCTIVAS Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE CORDEROS (*Ovis aries*) PELIBUEY X DORPER Y PELIBUEY X KATAHDIN

EFFECT OF F1 CROSSBREEDING ON THE PRODUCTIVE RESPONSES AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PELIBUEY X DORPER AND PELIBUEY X KATAHDIN LAMBS (*Ovis aries*)

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

Ambulo, Yarina. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá. yarina.ambulo-p@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-2351-9553>

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

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

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

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

De Gracia, Meivis. Consultor Independiente, Panamá. linethmdc@gmail.com <https://orcid.org/0009-0008-1947-0965>

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

DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4515>

Recibido: 21/04/2023

Aceptado: 02/10/2023

RESUMEN. El objetivo del estudio fue evaluar la influencia del cruzamiento F1 sobre el desempeño productivo y características morfológicas en cruces de Pelibuey x Dorper (PD) y Pelibuey x Katahdin (PK). Se utilizó la raza Pelibuey como línea materna y las razas Dorper y Katahdin como líneas paternas. Se utilizaron 20 animales machos, 10 PD y 10 PK. Los animales fueron manejados en sistemas de producción estabulado. Los corderos PD presentaron mayor peso al final del engorde, ganancia diaria de peso, peso en canal y rendimiento de la canal en comparación a los corderos PK ($p < 0,05$), sin embargo, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) en el peso al nacimiento y destete entre los cruzamientos. Con relación a las variables morfológicas, animales PD tuvieron mayor ancho de cabeza, perímetro torácico, ancho de pecho y grupa en comparación a los corderos PK ($p < 0,05$). Mientras que los corderos PK presentaron mayor alzada de cruz, alzada de grupa y longitud corporal con relación a PD ($p < 0,05$). No obstante, la longitud de cabeza y perímetro de caña no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los cruces. Los modelos Brody y Von Bertalanffy presentaron mejores ajustes para modelar la curva de crecimiento de los corderos PD y PK, con $R^2 \geq 0,98$. Se encontró correlación lineal positiva alta entre el peso vivo y perímetro torácico ($r = 0,98$) en ambos cruzamientos. En conclusión, los corderos F1 PD presentan mejor desempeño productivo y características morfológicas adecuadas al biotipo con aptitud para producción de carne.

PALABRAS CLAVE: Cruzamiento, corderos, curva de crecimiento, modelos no lineales.

ABSTRACT. The objective of the study was to evaluate the influence of F1 crossbreeding on productive performance and morphological characteristics in crosses of Pelibuey x Dorper (PD) and Pelibuey x Katahdin (PK). The Pelibuey breed was used as the maternal line and the Dorper and Katahdin breeds as the paternal lines. 20 male animals were used, 10 PD and 10 PK. The animals were managed in stable production systems. PD lambs had higher weight at the end of fattening, daily weight gain, carcass weight and carcass yield than PK lambs ($p < 0.05$), however, there were no significant differences ($p > 0.05$) in weight at birth and weaning between crosses. In relation to morphological variables,

PD animals had greater head width, thoracic perimeter, chest width and rump compared to PK lambs ($p < 0.05$). While PK lambs had greater withers height, rump height and body length in relation to PD ($p < 0.05$). However, head length and shank perimeter did not show significant differences ($p > 0.05$) between the crosses. The Brody and Von Bertalanffy models presented better fits to model the growth curve of the PD and PK lambs, with $R^2 \geq 0.98$. A high positive linear correlation was found between live weight and chest perimeter ($r = 0.98$) in both crosses. In conclusion, F1 PD lambs present better productive performance and morphological characteristics appropriate to the biotype with aptitude for meat production.

KEYWORDS: Crossbreeding, lambs, growth curve, nonlinear models.

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años la producción de carne de animales rumiantes ha sido considerada una excelente fuente de proteína para la nutrición humana. Entre los animales rumiantes más utilizados para este fin están los bovinos, ovinos y caprinos, entre otros. Actualmente, el propósito en la producción de carne animal se enfoca en la cantidad y, con mayor énfasis, en la calidad, las cuales son características que pueden afectarse por varios factores como, por ejemplo, la genética, alimentación, edad y el manejo en general que se brinda a los animales (Bores-Quintero *et al.*, 2002; Cienfuegos-Rivas *et al.*, 2010).

En Panamá, la población de ovinos ha presentado aumento de 15% en los últimos años (INEC, 2011), esto debido principalmente a la existencia de nuevas culturas en el país con preferencias particular por el consumo de la carne ovina. También es importante destacar que actualmente se han formado nuevas empresas ganaderas, asociaciones, cooperativas y ferias de productores de ovinos y caprinos a nivel nacional, que promueven la venta de las diferentes razas de animales y el desarrollo de nuevos productos en el mercado nacional como la carne, leche, yogurt, queso, helados, entre otros, (Marquínez-Batista *et al.*, 2022). Este desarrollo de la ganadería ovina indica que la demanda nacional de carne ha crecido, por lo tanto, los sistemas de producción adquieren mayor interés cada día y a la vez se torna un gran desafío por mejorar la eficiencia productiva de los animales.

Las razas ovinas más utilizadas para producción de carne en Panamá son la raza Pelibuey y Black Belly, estas razas presentan buena adaptación a las condiciones tropicales del país, con un bajo desempeño productivo (Saldaña-Ríos *et al.*, 2016). El bajo rendimiento de ambas razas se debe posiblemente al manejo reproductivo inadecuado, haciendo uso de la consanguinidad (cruzamientos entre parientes), lo cual ha traído como consecuencia bajo desempeño productivo en los animales.

Para mejorar estos parámetros productivos, se ha optado por importar sementales Katahdin y Dorper de México para realizar mejoramiento genético (Saldaña-Ríos *et al.*, 2016). Esto debido a su destacado desempeño productivo y adaptación a los climas tropicales (Moreno-Cáñez *et al.*, 2013; Gómez-Hernández *et al.*, 2022). También existen otras razas como la Charollais y Hampshire, las cuales son nuevas razas introducidas en Panamá, ambas razas presentan buena aptitud para producción de carne (Bianchi *et al.*, 2003; Cruz-Colín *et al.*, 2006; López-Velázquez *et al.*, 2016). Sin embargo, aún no se conoce la adaptación y el desempeño productivo en las condiciones tropicales del país.

Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del cruzamiento terminal F1 en las respuestas productivas y características morfológicas de los corderos Pelibuey x Dorper y Pelibuey x Katahdin manejados en sistema estabulado bajo condiciones del clima tropical húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del estudio

El estudio experimental se realizó en la empresa Hacienda Nápoles, San Vicente, provincia de Panamá. Su ubicación geográfica corresponde a los 9°07'17" latitud Norte y 79°35'26" longitud Oeste, con valores mínimos y máximos de temperatura ambiental 24,5 y 31,4°C y humedad relativa 57 y 83%, respectivamente; correspondiendo a la clasificación de clima tropical húmedo.

Manejo de animales en experimento

En este estudio se utilizaron 20 animales F1 machos, 10 Pelibuey x Dorper (PD) y 10 Pelibuey x Katahdin (PK), a cada animal se le asignó una identificación individual para su control. Los animales se mantuvieron con las madres hasta el destete (100 días), posteriormente fueron trasladados a los corrales de ceba con medidas de 2,80 x 2,25 m, con piso de plástico suspendidos (1,5 m de altura). Se consideró un periodo de adaptación durante los primeros 15 días y el periodo de ceba duró 80 días; las etapas de cría y ceba se desarrollaron durante el mes de enero hasta junio de 2022.

Para garantizar condiciones iguales durante el experimento para los corderos de ambos cruzamientos, se les proporcionó el mismo manejo, ofreciéndoles una dieta con concentrado comercial de 18% de proteína cruda y 2,80 Mcal EM/kg MS. También, se brindó heno de Swazi (*Digitaria swazilandensis*), pasto Tanner (*Urochloa arrecta*), sal mineralizada y con disponibilidad de agua en los corrales. Los alimentos se ofrecieron a voluntad hasta completar 180 días de edad.

Se realizaron medidas profilácticas sobre el corte y limpieza de las pezuñas, control de parásitos gastrointestinales y aplicaciones de vitaminas para garantizar que ambos grupos mantuvieran buena salud durante el estudio.

Evaluación productiva y morfológica de los animales

Las variables productivas evaluadas fueron: peso al nacimiento (kg), peso al destete ajustado a 100 días (kg), peso final de ceba o sacrificio (kg) a 180 días de edad, ganancia diaria de peso (g/día), peso en canal (kg) y el rendimiento en canal (%). Se registró el peso al nacimiento (kg) de todos los corderos F1, posteriormente se pesaron una vez a la semana hasta finalizar con el peso final ceba o sacrificio a 180 días de edad, utilizando una balanza digital modelo (LP7515). Para estimar la ganancia diaria de peso (GDP) g/día de ambos cruzamientos F1, entre el periodo del destete y la ceba de 80 días, se calculó de la siguiente forma:

$$\text{GDP (g/día)} = \frac{\text{Peso final de ceba (kg)} - \text{peso inicial a 100 días (kg)}}{\text{Periodo de ceba (días)}} \times 1000$$

Las variables morfológicas evaluadas fueron: longitud de cabeza, ancho de cabeza, alzada de la cruz, perímetro torácico, perímetro de caña, alzada de la grupa, largo de grupa, ancho de grupa y longitud corporal. Todas estas mediciones se realizaron con apoyo de una regla de madera y cinta métrica calibrada en centímetros (cm) y milímetros (mm), según la metodología propuesta por Hernández-Zepeda *et al.*, (2002). Estos valores fueron registrados de forma individual, durante el periodo final de la ceba a 180 días de edad de los animales.

Al culminar el periodo de ceba, los animales fueron sacrificados, en este proceso la cabeza, piel, patas y órganos viscerales fueron separados de cada canal y su peso se registró de manera individual, posteriormente el rendimiento en canal RC (%) se calculó de la siguiente forma:

$$\text{RC (\%)} = \frac{\text{Peso de la canal caliente (kg)}}{\text{Peso final de ceba o sacrificio (kg)}} \times 100$$

Diseño y análisis estadístico

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), empleando el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ik} = \mu + t_i + e_{ik}$$

Donde y_{ik} = representa las variables dependientes (respuestas productivas y morfológicas); μ = es la media general; t_i es el efecto del cruzamiento terminal F1 (½ Pelibuey x ½ Dorper vs ½ Pelibuey x ½ Katahdin); e_{ijk} es el error aleatorio.

Para estudiar la evolución del peso corporal fue utilizado el Diseño de Medidas Repetidas (DMR), donde los dos factores considerados fueron: el grupo genético y la edad según los subperiodos para la medición del peso corporal. El modelo lineal aditivo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_k + (\alpha\beta)_{ik} + a_{j(i)} + e_{(ijk)}$$

Donde Y_{ijk} = Peso corporal, u = media general del peso corporal (kg), α_i = Grupos genéticos $i^{\text{mo}} = 1$ (½ Pelibuey x ½ Dorper) y 2 (½ Pelibuey x ½ Katahdin), β_k = Peso Corporal en el tiempo k^{mo} según la edad 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165 y 180 días, $a_{j(i)}$ = efecto aleatorio del animal j anidado en i , $(\alpha\beta)_{ik}$ = Interacción del tiempo con los grupos genéticos y $e_{(ijk)}$ = Residuo experimental.

Se realizó prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (1965) para verificar la normalidad de las variables, y la prueba de Levene (1960) para verificar la homocedasticidad en todas las variables en estudio. Posteriormente, se ejecutó un análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables de respuesta productiva y características morfológicas, con el uso del programa estadístico SAS (P<0,05) (SAS Institute Inc., 2004). Los valores observados, los promedios y el valor-P del ANOVA de cada variable en estudio fueron representados en las gráficas de cajas y bigotes, realizados a través del programa Graph Pad Prism v. 8.0.2. Para caracterizar las curvas de

crecimiento, se evaluaron tres modelos no lineales Brody (Brody & Lardy, 1945), Gompertz (Gompertz, 1825) y Von Bertalanffy (Von Bertalanffy, 1938). Se realizaron gráficas de dispersión, tomando el peso vivo (kg) desde el nacimiento hasta 180 días de edad, utilizando la herramienta Solver del programa Excel, con los siguientes modelos matemáticos Brody $y = a (1 - b \exp^{-kt})$, Gompertz $y = a \exp^{-b \exp^{-kt}}$, y Von Bertalanffy $y = a (1 - b \exp^{-kt})^3$. El mejor modelo fue seleccionado de acuerdo con el criterio del mayor coeficiente de determinación R^2 , Criterio de Información de Akaike AIC y el Criterio de Información Bayesiano BIC. También, se determinó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre el peso vivo y las variables morfológicas en ambos cruzamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuestas productivas

El análisis de varianza no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los cruzamientos F1, para las variables peso al nacimiento kg y al destete ajustado a 100 días kg (Figura 1a y b). Sin embargo, indicó diferencias significativas ($p < 0,05$) para las variables peso final de ceba a 180 días kg, ganancia diaria de peso g/d, peso en canal kg y rendimiento en canal % (Figura 1c, d, e y f). Los corderos cruzados F1 PD y PK presentan pesos similares al nacimiento con promedio general de $3,16 \pm 0,38$ kg, y peso al destete con promedio de $24,24 \pm 4,13$ kg.

Estos resultados indican buen comportamiento para ambos cruzamientos F1, ya que permite la facilidad al parto en las ovejas y así lograr crías saludables (González *et al.*, 2002). La media general de peso al nacimiento para ambos cruces fue similar a la reportada por otros autores, por ejemplo, González *et al.* (2002) quienes informaron rangos entre 2,7 a 3,0 kg.

En cuanto al peso al destete ajustado a 100 días, el resultado indicó que ambos cruces F1 presentan crecimientos similares en esta etapa, lo cual está relacionado posiblemente a la capacidad materna (producción leche) de la raza materna Pelibuey, bajo condiciones similares de manejo, considerando que en esta etapa existe mucha influencia de la madre, cuando son animales bien seleccionados y también se les brinda buena alimentación balanceada que cubra los requerimientos nutricionales de la madre y también para la crías (Hinojosa-Cuéllar *et al.*, 2015).

Los corderos F1 PD presentaron 8,05%, 45,04%, 19,38%, 4,84% mayor peso final de ceba a 180 días de edad, ganancia diaria de peso, peso en canal y el rendimiento en canal, respectivamente, en comparación a los corderos F1 PK.

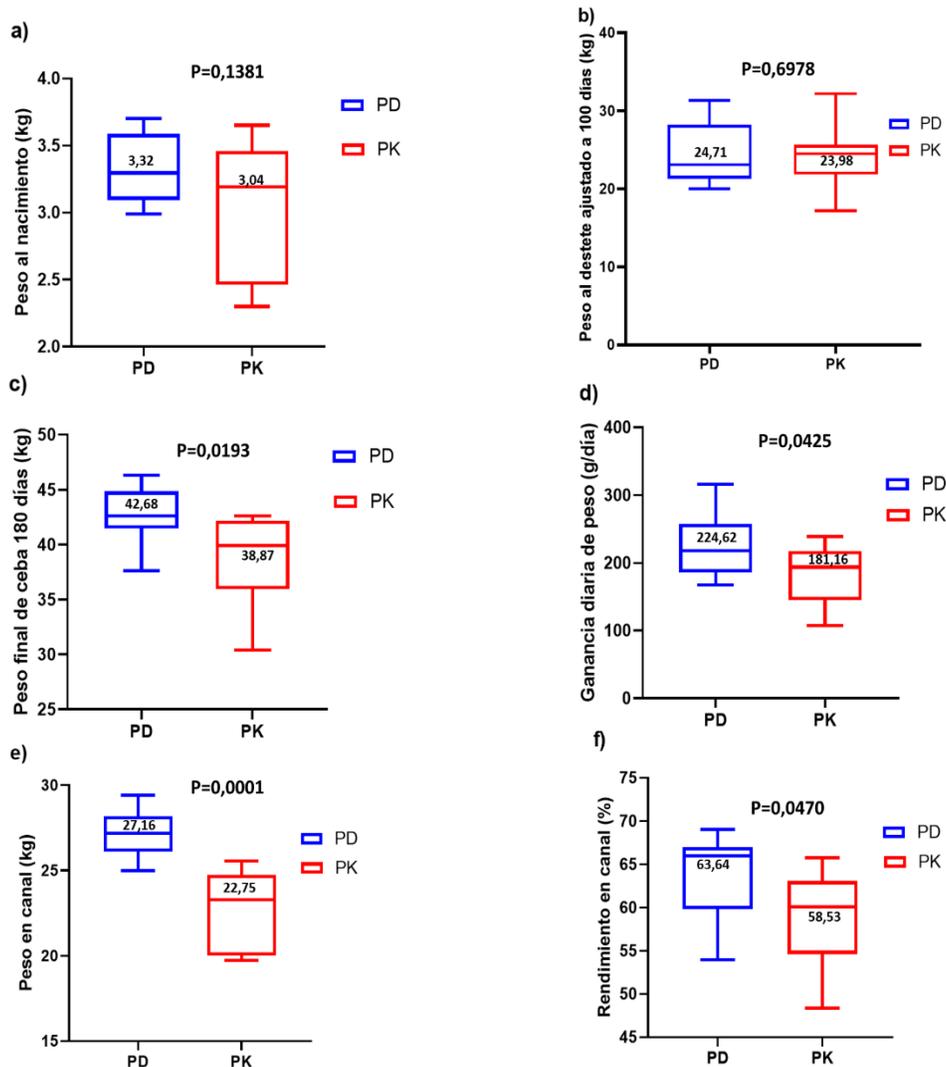
Los resultados favorables sobre el desempeño productivo del cruce terminal F1 PD se debe posiblemente a la contribución genética de la raza paterna Dorper que le da una complementariedad al cruce con la raza Pelibuey obteniendo mejores ganancias de peso y rendimiento en canal (Macías-Cruz *et al.*, 2010). Lo cual se puede relacionar con la raza ya que es un factor importante que influye sobre el desempeño productivo de los rumiantes para leche y carne (Barbato *et al.*, 2011).

En este sentido, la línea paterna Dorper aporta características productivas que maximizan la heterosis y complementariedad obtenida en el cruzamiento F1 (Macías-Cruz *et al.*, 2010). Esto podría representar una alternativa para mejorar la producción de carne en la región y por otro lado, apoya la idea que la mayor cantidad de heterosis se presenta en individuos F1 aunque en este estudio no fue medida.

Los resultados obtenidos en este estudio con respecto al tiempo y peso final de ceba indicaron que los corderos PD presentaron mayor eficiencia en la finalización de la ceba a 180 días, este factor posiblemente se debe a la genética del Dorper, el entorno ambiental y al sistema de producción utilizado en el experimento.

Figura 1

Efecto del cruzamiento en las respuestas productivas de corderos F1 Pelibuey x Dorper (PD) y F1 Pelibuey x Katahdin (PK) en sistema estabulado bajo condiciones del clima tropical húmedo.



Curva de crecimiento

El cruzamiento F1 presentó efecto ($p < 0,05$) sobre el peso corporal de los animales PD y PK, los pesos según la edad presentaron diferencias ($p < 0,05$) entre los corderos PD y PK, y también se encontró interacción significativa ($p < 0,05$) entre los cruzamientos y los pesos obtenidos según la edad a los 165 y 180 días, donde los PD presentaron mayor peso. En la tabla 1 se encuentran los parámetros estimados de las curvas de crecimiento de los corderos de ambos cruzamientos F1, con los modelos no lineales Brody, Gompertz y Von Bertalanffy. El R^2 osciló entre 0,98 a 0,99, lo cual indicó de forma general buen ajuste para los tres modelos no lineales, mientras que al analizar los valores AIC y BIC, se observó que los modelos Brody, Gompertz y Von Bertalanffy presentaron mínimas diferencias entre ambos criterios; sin embargo, se seleccionaron los modelos Brody y Von Bertalanffy, como los de mejores ajustes a los datos de pesos, y por su menor valor de AIC y BIC, en ambos cruzamientos F1. De acuerdo con Vergara-Gray *et al.*, (2017) el crecimiento y desarrollo de los animales cruzados es lento, para llegar al peso adulto, sin embargo, los resultados de este estudio indican que los animales F1 PD y PK alcanzaron pesos altos a 180 días de edad, con una tasa de crecimiento considerada buena, en comparación a otros estudios con corderos de raza Pelibuey puros y cruzados con Dorper y Katahdin (Macías-Cruz *et al.*, 2010). Este indicador zootécnico es fundamental para la empresa ovina, porque ayuda a determinar el peso y la edad más adecuada al sacrificio de los corderos, con el propósito de obtener una mayor rentabilidad.

Tabla 1

Parámetros estimados de modelos no lineales para el ajuste de las curvas de crecimiento de corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin).

Modelo	GG F1	Parámetros			Criterios de ajuste			
		a	b	k	R^2	RMSE	AIC	BIC
Brody	PD	146,26	0,9723	0,0016	0,9991	5,46	461,56	472,36
	PK	203,39	0,9819	0,0010	0,9844	9,82	619,99	630,79
Gompertz	PD	59,86	2,3237	0,0102	0,9919	5,72	474,16	484,96
	PK	65,63	2,4319	0,0088	0,9843	9,92	622,52	633,31
Von Bertalanffy	PD	51,32	0,9738	0,0015	0,9923	5,45	461,00	471,79
	PK	74,33	0,9832	0,0009	0,9844	9,80	619,24	630,03

GG: grupo genético F1, PD: F1(Pelibuey x Dorper), PK: F1(Pelibuey x Katahdin), R^2 : Coeficiente de determinación, RMSE: Raíz del cuadrado medio del error, AIC: Criterio de Información Akaike, BIC: Criterio de Información Bayesiano.

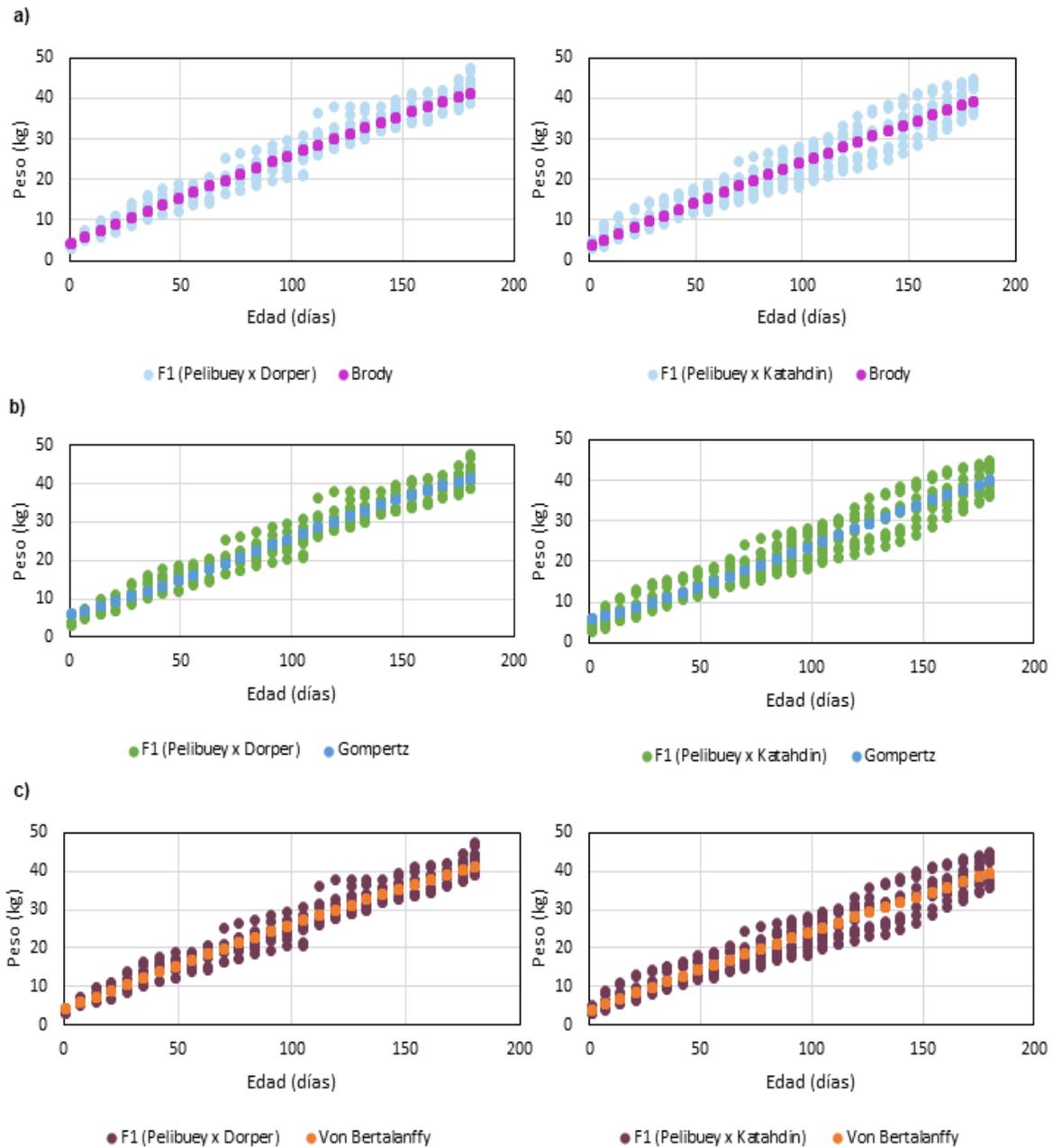
En las Figuras 2a , b y c, se observa que los pesos estimados de los corderos PD y PK con los distintos modelos no lineales tuvieron una tendencia de aumento, de acuerdo con la edad. Los modelos no lineales evaluados Brody, Gompertz y Von Bertalanffy formaron curvas de crecimiento muy similares en ambos cruzamientos F1, favoreciendo los modelos Brody y Von Bertalanffy, los cuales presentaron pesos acorde al proceso biológico del crecimiento esperado en los corderos para producción de carne, mientras que el modelo Gompertz estimó el peso al nacimiento de 6,00 y 5,89 kg para los corderos PD y PK, respectivamente, estos valores son considerandos muy altos y no representan el comportamiento fisiológico de crecimiento más apropiado en los corderos de pelo. Es importante destacar que los corderos con pesos al nacimiento mayor de 4,5 kg pueden provocar dificultad al parto en las ovejas.

Estos resultados muestran que ambos cruzamientos F1 tuvieron buen manejo en la alimentación, nutrición y salud durante el estudio. Es importante señalar que el peso vivo se puede afectar cuando no se cubren los requerimientos nutricionales de los animales (Lambe *et al.*, 2006; Adán *et al.*,

2007; Lupi *et al.*, 2015). En otros estudios sobre el crecimiento de corderos cruzados Santa Inés x Criollo también mostraron resultados similares, donde los modelos no lineales Brody y Von Bertalanffy mostraron buenos ajustes para estimar las curvas de crecimiento de los animales (Lenis-Valencia *et al.*, 2022).

Figura 2

Diagrama de dispersión para la curva de crecimiento de los corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) de acuerdo con los modelos no lineales Brody (a), Gompertz (b) y Von Bertalanffy (c).



Características morfológicas

El análisis de varianza no indicó diferencias significativas ($p > 0,05$) para las variables longitud de cabeza y perímetro de caña cm (Figura 3a y f), sin embargo, hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) para las variables ancho de cabeza, alzada de la cruz, perímetro torácico, ancho de pecho, alzada de la grupa, longitud de grupa, ancho de grupa y longitud corporal cm (Figura 3b, c, d, e, g, h, i, y j).

Los corderos F1 PD y PK presentaron longitud de cabeza y perímetro de caña similares con promedio general de $15,88 \pm 1,02$ cm y $8,38 \pm 0,72$ cm, respectivamente. Los corderos PD presentaron 11,10%, 19,73%, 9,04%, y 27,75% mayor tamaño para el ancho de la cabeza, pecho, perímetro torácico y grupa, respectivamente, que los F1 PK, mientras que los corderos PK presentaron 7,80%, 5,93%, 12,11% y 9,77% mayor tamaño de alzada de la cruz, alzada de grupa, longitud de grupa y longitud corporal, respectivamente en comparación a los corderos PD.

Estos resultados permiten caracterizar a los corderos F1 PD como animales de menor tamaño, pero con gran fortaleza y amplitud corporal en comparación a los corderos F1 PK, mientras que los corderos PK presentan mayor tamaño y longitud del cuerpo. Ambos cruzamientos presentaron uniformidad morfológica con buen desarrollo óseo, perímetro de caña y aplomos, sin embargo, es importante destacar que el cruce PD mostró superioridad en las variables morfológicas de mayor interés que están relacionadas al biotipo más eficiente para producción de carne.

Las diferencias encontradas en este estudio pueden ser explicada por la variación genética de las razas paternas Dorper y Katahdin utilizadas en los esquemas de cruzamientos F1 con la raza Pelibuey, la raza Dorper es considerada superior en atributos para producción de carne en comparación a la raza Katahdin, esta última raza ha sido mayormente utilizada como una línea materna debido a su habilidad materna y adaptación a climas tropicales (Rocha *et al.*, 2009; Zúñiga *et al.*, 2021).

Las medidas y perfil de la cabeza de los animales están asociada a las características heredadas por los progenitores, la peculiaridad en el cruce Dorper con cabeza más ancha, también permite indicar mayor rusticidad y capacidad para alimentación bajo el pastoreo. Las medidas de la cabeza tienen su importancia etnológica, porque no están influenciadas directamente por los factores ambientales y por el manejo (Bedotti *et al.*, 2004).

El promedio del ancho de pecho obtenida en el cruce PD, permite caracterizar a los animales más robustos, con una función relacionada hacia la producción de carne. De igual manera, el perímetro torácico mayor observado en PD se aproxima más a la forma predominante en los animales con aptitud carnífera (Rawat y Sing, 2014). También genera una idea del grado de finura del esqueleto, siendo su valor mayor en animales con aptitud para producir carne y menor en animales con aptitud para producción de leche (Bravo y Sepúlveda, 2010; Alves *et al.*, 2023).

Estas características en los corderos (PD) permiten obtener animales eficientes durante el desarrollo de engorda, lo cual está relacionado al genotipo que aporta la línea paterna Dorper, una raza con excelente desarrollo muscular en comparación a las características morfológicas de la raza Katahdin (Macías-Cruz *et al.*, 2010).

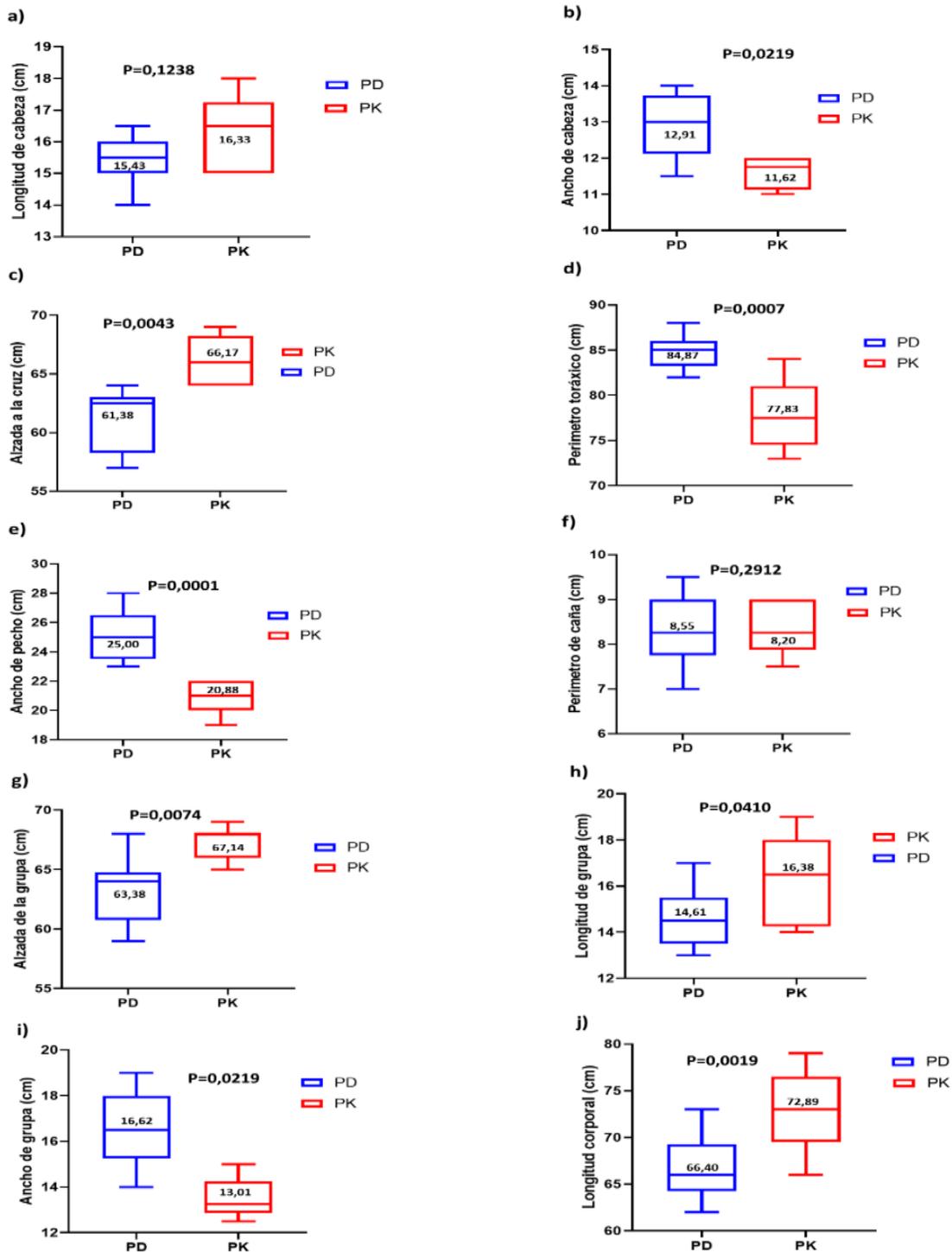
Tomando en cuenta la alzada de cruz y longitud corporal podemos indicar que el cruce F1 PK presenta proporciones de un animal longilíneo (Fernández *et al.*, 2014). Las medidas ancho y longitud de grupa, es fundamental porque aporta datos de interés desde un punto de vista racial, productivo y reproductivo (Mello y Schmidt, 2008).

Los corderos de padres Dorper tuvieron mayor ancho de grupa, lo cual significa una mayor extensión del tronco que podría representar una ventaja para el tamaño del lomo, que es un corte de mayor valor en la canal. Además, en este estudio, los corderos PD se caracterizan por presentar menor longitud corporal y alzada de cruz y grupa, pero sus canales son más compactas que en los corderos PK, lo cual se atribuye un menor tamaño y mayor precocidad de la raza Dorper en comparación con la Katahdin.

La relevancia de estas variables morfológicas estriba en que estas piezas son consideradas como un corte de primera, con un alto valor económico. Además, si presentan la circunferencia torácica y pecho amplio, puede aumentar la producción y calidad de la canal, debido a que los sistemas de los mercados valoran mejor las canales de forma redondeados y con perfiles convexos (López *et al.*, 2016). La raza paterna seleccionada influye sobre el desarrollo de las características morfológicas en los animales (Barbato *et al.*, 2011).

Figura 3

Efecto del cruzamiento en las características morfológicas de corderos F1 Pelibuey x Dorper (PD) y F1 Pelibuey x Katahdin (PK) en periodo final de ceba a 180 días de edad, en sistema estabulado bajo condiciones del clima tropical húmedo.



Correlación entre variables productiva y morfológica

En este estudio se encontraron correlaciones significativas ($p < 0,05$) entre el peso vivo y las variables morfológicas de ambos cruzamientos F1, hubo correlaciones entre el peso vivo y el perímetro torácico ($r = 0,98$), y correlaciones consideradas media, entre el peso vivo y las variables alzada de la cruz ($r = 0,69$ PD y $r = 0,68$ PK), ancho de pecho ($r = 0,75$ PD y $r = 0,70$ PK), alzada de la grupa ($r = 0,67$ PD y $r = 0,68$ PK) ancho de grupa ($r = 0,69$ PD y $r = 0,68$ PK), y longitud corporal ($r = 0,71$ PD y $r = 0,73$ PK). Las demás variables no presentaron correlaciones significativas ($p > 0,05$), las cuales fueron consideradas moderadas y bajas (Tabla 2).

Tabla 2

Coefficientes de correlación de Pearson entre el peso vivo y las variables morfológicas de los corderos F1 (Pelibuey x Dorper) y F1 (Pelibuey x Katahdin) en sistema estabulado bajo condiciones del clima tropical húmedo.

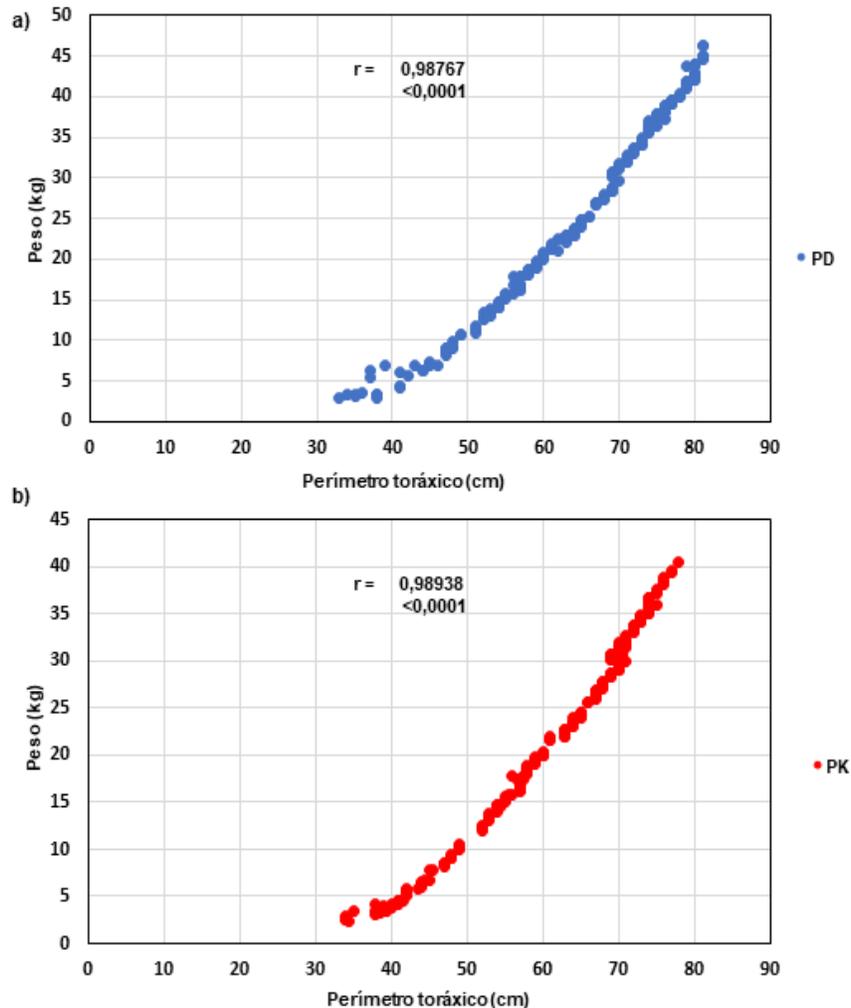
F1 (Pelibuey x Dorper)										
	LC	AC	ALC	PT	AP	PC	ALG	LG	AG	LC
PV	0,5296	0,5989	0,6923*	0,9859*	0,7505*	0,4609	0,6726*	0,2402	0,6950*	0,7195*
LCA		0,4946	0,4797	0,5581	0,4511	0,4369	0,5622	0,3228	0,2635	0,4715
AC			0,5486	0,5922	0,6639	0,4102	0,5892	0,2203	0,5225	0,6395
ALC				0,6086	0,6081	0,4156	0,8677	0,3115	0,3114	0,5919
PT					0,7652	0,4960	0,6981	0,3409	0,5761	0,5412
AP						0,4555	0,5913	0,2341	0,5316	0,6060
PC							0,3706	0,2508	0,3303	0,4672
ALG								0,2078	0,2991	0,5845
LG									0,4206	0,3020
AG										0,4656
F1 (Pelibuey x Katahdin)										
	LC	AC	ALC	PT	AP	PC	ALG	LG	AG	LC
PV	0,4392	0,5899	0,6878*	0,9817*	0,7087*	0,2609	0,6833*	0,3298	0,6891	0,7312*
LCA		0,3256	0,5683	0,2989	0,3208	0,3358	0,6267	0,3345	0,1785	0,4983
AC			0,4702	0,5893	0,6257	0,3903	0,4674	0,1655	0,3978	0,5481
ALC				0,6221	0,5911	0,4072	0,8802	0,4213	0,2865	0,6087
PT					0,7337	0,3728	0,6795	0,3264	0,4259	0,5631
AP						0,2891	0,4766	0,1596	0,4895	0,5839
PC							0,2691	0,2013	0,2835	0,3974
ALG								0,1865	0,3058	0,6057
LG									0,4602	0,4725
AG										0,3102

PV: peso vivo; LCA: longitud de cabeza; AC: ancho de cabeza; ALC: alzada a la cruz; PT: perímetro torácico; AP: ancho de pecho; PC: perímetro de caña; ALG: alzada a la grupa; LG: longitud de grupa; AG: ancho de grupa; LC: longitud corporal. *La correlación es significativa ($p < 0,05$).

En la figura 4, se ilustra la correlación lineal positiva alta más relevante encontrada en este estudio entre las variables peso vivo y el perímetro torácico de ambos animales F1. Esto indica una relación muy importante en animales para producción de carne, entre más amplio el perímetro torácico los corderos presentan mayor peso corporal.

Figura 4

Diagrama de dispersión de los valores observados del peso vivo (kg) y el perímetro torácico (cm) en los corderos (a) F1 Pelibuey x Dorper (PD) y (b) F1 Pelibuey x Katahdin (PK) en sistema estabulado bajo condiciones del clima tropical húmedo.



Los animales con mayor perímetro torácico, ancho de pecho, ancho de grupa y longitud corporal, indican buena amplitud torácica y fortaleza en los animales. Estos tienen una estructura morfológica que se aproxima más a un rectángulo, forma predominante en los animales con aptitud para producción de carne (Canaza-Cayo *et al.*, 2017). Para estas características evaluadas en estudio, los cruces F1 PD tuvieron superioridad en comparación a los animales PK, lo cual también es importante indicar que las respuestas de este último cruce F1 se consideran buenas y aceptables para la ceba.

La correlación alta entre el peso corporal y el perímetro torácico son importante, ya que en situaciones donde no se cuenta con balanza para pesar los animales, se puede utilizar principalmente como referencia el perímetro torácico (Abreu *et al.*, 2005).

Además, es fundamental tomar en cuenta otras medidas biométricas como el ancho de pecho, ancho de grupa, alzada de la cruz y longitud corporal, las cuales permiten hacer selección más adecuada de los animales con mejor perfil para producción de carne (Contreras *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

Los corderos F1 Pelibuey x Dorper presentan mejor desempeño productivo y características morfológicas adecuadas al biotipo con mayor aptitud para producción de carne.

Los modelos no lineales Brody y Von Bertalanffy muestran buen ajuste para caracterizar la curva de crecimiento acorde con el peso de nacimiento hasta 180 días de edad de los corderos en estudio.

Las medidas del perímetro torácico, alzada de la cruz, ancho de pecho, alzada de la grupa, ancho de grupa y longitud corporal pueden ser utilizadas para la selección de corderos más productivos ya que manifiestan mayor relación con el peso corporal de los animales.

AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Jihad Badr Darybara Issa, por permitir el uso de las instalaciones y los animales para este estudio. A la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá (FCA-UP) por el transporte brindado para el desarrollo de esta investigación. También, se agradece a los Señores. Christian De León y José Pérez por el apoyo brindado en el manejo de los animales durante el periodo experimental.

REFERENCIAS

- Abreu, U. G. P., Santos, S. A., Sereno, J. R. B., Comastri-filho, J. A. y Ravanelli, M. S. (2005). Caracterización morfométrica de los bovinos pantaneiros del núcleo de conservación IN SITU DE NHUMIRIM. *Archivo de Zootecnia*, 54(206-207), 211-216.
- Adán, S., García, J., Domínguez, B., Justo, J. R., Lama, J., Fernández, M., Rivero, C. J. y Rois, D. (2007). Estudio del crecimiento de los corderos de la raza ovella galega. *Archivo de Zootecnia*, 56(1), 489-496.
- Alves, S. G., Vega, W. H., Costa, H. H., Silveira, R. M. & Landim, A. V. (2023). Morada Nova lambs' meat production potencial description through morphometric evaluation. *Ciência Rural, Santa Maria*, 53(8), 1-13.
- Barbato, G. Kremer, R. Rosés, L. y Rista, L. (2011). Producción de ovejas Corriedale y cruzas F1 con Milchscharf y Texel en condiciones de pastoreo. *Veterinaria Montevideo*, 47(181), 9-13.

- Bedotti, D., Gómez, A. G., Sánchez, M. y Martos, J. (2004). Caracterización morfológica y faneróptica de la cabra Colorada Pampeana. *Arch. Zootec*, 53, 261-271.
- Biachini, G., Garibotto, G. y Betancur, O. (2003). Características de crecimiento de corderos ligeros hijos de ovejas corriedale y Moruecos Corriedale Texel, Hampshire down, Southdown, Ile de France, Milchschaaf o suffolk. *Archivos de Zootecnia*, 52(199), 339-345.
- Bravo, S. Sepúlveda, N. (2010). Índice zoométricos en ovejas Criollas Araucanas. *Int. J. Morphol*, 28(2), 489-495.
- Brody, S., & Lardy, H. (1945). Bioenergetics and growth. *The Journal of Physical Chemistry* (New York). 50(2), 168-169. <https://doi.org/10.1021/j15046a008>
- Bores-Quintero, R. F. Velázquez, P. A., Aguilar, H. (2002). Evaluación de razas terminales en esquemas de cruce comercial con ovejas de pelo F1. *Técnica Pecuaria en México*, 40(1), 71-79.
- Canaza-Cayo, A. W., Beltrán-Barriga, P. A., Gallegos-Rojas, E. y Quispe, J. (2017). Zoometría de ecuaciones de predicción de peso vivo em ovejas de la raza Corriedale. *Revista Investig. Altoandin*, 19(3) 313-318.
- Cienfuegos-Rivas, E. G. González-Reyna, A. Hernández-Meléndez, J. y Zárate-Fortuna, P. (2010). Mejoramiento genético de la producción ovina mediante estrategias de cruzamientos con razas de pelo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 18(1-2), 49-56.
- Contreras, J. L., Cordero, A. G., Curasma, J., Enriquez, D., Vilcapaza, L., Gutierrez, N. y Del Solar, J. (2021). Caracterización biométrica y estimación del peso corporal em bovinos criollos en la comunidad de Chuñuranra-Huancavelica (Perú). *Archivo de Zootecnia*, 70(271), 246-250.
- Cruz-Colín, L., Torres-Hernández, G., Nuñez-Dominguez, R. y Becerril-Pérez, C. M. (2006). Evaluación de características productivas de cordeiros Hampshire, Dorset y Suffolk en pruebas de comportamiento, en Hidalgo, México. *Agrociencia*, 40(1), 59-69.
- Fernández, J. L. Holgado, F. D. Hernández, M. E. Solaligue, P. B. y Salinas, C. (2014). Caracterización morfológica del caprino Criollo del NOA I: Medidas morfométricas e índices corporales. *Revista Agron. Argent*, 34(2) 107-110.
- González, R., Torres, G. y Castillo, M. (2002). Crecimiento de corderos Blackbelly entre el nacimiento y el peso final en el trópico húmedo de México. *Revista Veterinaria México*, 33(4), 443-453.
- Gómez-Hernández, L.E., González-Reyna, A., Zárate-Fortuna, P., Faustino-Lázaro, B., Hernández-Meléndez, J. y Martínez-González, J. C. (2022). Comportamiento pre-destete del cordero, producción y calidad de la leche en ovejas de pelo. *Revista Ciencia Agropecuaria*, 34, 1-22.

- Gompertz, B. (1825). On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.115, 513-583.
- Hernández-Zepeda, J.S., Franco, F. J., Herrera, G., Rodero, E., Sierra, A. C., Bañuelos, A. y Delgado, J. V. (2002). Estudio de los recursos genéticos de México: características morfológicas y morfoestructurales de los caprinos nativos de Puebla. *Archivos de Zootecnia*, 51(194), 53-64.
- Hinojosa-Cuéllar, J. A., Oliva, J., Torres, G., Segura, J.C. y González, R. (2015). Productividad de ovejas F1 Pelibuey x Blackbelly y sus cruces con Dorper y Katahdin en un sistema de producción del trópico húmedo de Tabasco, *México, Arch Med Vet*, 47, 167-174.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2011). Estimación de la producción caprina y ovina en Panamá. Retrived march 27, 2022, Recuperado <https://www.inec.gob.pa/archivos/p4801Cuadro18.pd>
- Lambe, N. R., Navajas, E. A. Simm, G. y Bunger, L. (2006). A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breeds. *Journal of Animal Science*, 84, 2642-2654.
- Lenis-Valencia, C. P., Molina, E. J. y Álvarez-Franco, L. A. (2022). Productividad y curvas de crecimiento usando modelos no lineales en un cruce de ovino de pelo colombiano x Pelibuey. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(2), 1-9. <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n2.2022.1853>
- Levene, H. "Robust Tests for Equality of Variances." *Contributions to Probability and Statistics*. (Edited by I. Olkin, et al.) Stanford: Stanford University Press, 1960. Chapter 25. pp. 278-292.
- Lupi, T. M., Nogales, S., León, J. M., Barba, C. y Delgado, V. (2015). Characterization of comercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed. *Journal Animal* 9(8), 1341-1348.
- López, M. M., de la Cruz, L. de la Peña, J. A. , Torres, G., Becerril, C. M., Rodríguez, G., Jiménez, M., Alfaro, R. H., Martínez, R. D. y Hinojosa, J. A. (2016). Efecto de la raza paterna en características de la canal de corderos para carne en Hidalgo, *México. Rev. Mex. Cienc Pecu*, 7(4), 441-453.
- Macías-Cruz, U., Álvarez, F.D., García, Correa, A. Torrentera, N. G. Molina, L. y Alvendaño, L. (2010). Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento. *Revista Achivos Medicos Veterinarios*, 42, 147-154.
- Marquín-Batista, L. M. Saldaña-Ríos, C. I. Moreno, E. E. Rivera, R. Escudero, V. Sandoya, I. y Espinosa, J. (2022). Caracterización de la producción, agroindustrialización y

- comercialización de ovinos y caprinos en Panamá. *Revista Ciencia Agropecuaria*, 35(1), 30-52.
- Moreno-Cañez, E., Ortega-García, C., Cañez-Carrasco, M. G. y Peñúñuri-Molina, F. (2013). Evaluación del comportamiento posdestete en corral de futuros sementales ovinos de raza Katahdin y Pelibuey en Sonora. *Tecnociencia Chihuahua*, 7(1), 7-16.
- Mello, F. A. Schmidt, V. (2008). Caracterização biométrica de caprinos Anglo-Nubianos nascidos no Brasil no período de 1993 a 2001. *Arch. Zootec.* 57 (220) 525-535.
- Rawat, S. K. & Sing, S. C. (2014). Characterization of jamunapari goat in mahoba district of bundelkhand región. *Scientific Journal of Animal Science*, 3(3) 81-86.
- Rocha, L. P., Fraga, A. B., Araújo, J. T., Figueira, R. F., Pacheco, K. M., Silva, F. I. y Rodríguez, D. S. (2009). Desempenho de cordeiros cruzados em Alagoas, Brasil. *Arch. Zootec.* 58(221), 145-148.
- Saldaña-Ríos, C. I., Ortega-Ríos, H. y Díaz-Granados, D. (2016). Constantes fisiológicas de ovinos Pelibuey, Dorper y Katahdin en ecosistema de bosque húmedo tropical. *Revista Ciencia Agropecuaria*, 25, 118-130.
- SAS Institute Inc. (2004). SAS/ETS 9.1 User's Guide. Statistical Analysis System. SAS institute, Inc., Cary, North Carolina. USA, 38-2416.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*. 52(3-4), 591-611.
- Vergara-Garay, O., Medina-Ríos, H., Robles-Sierra, C., Simanca-Sotelo, J. y Bustamante-Yanez, M. (2017). Determinación de la curva de crecimiento en ovinos criollos de pelo, mediante la utilización de modelo Gompertz, en el trópico bajo colombiano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2) 385-391. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.396>
- Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biology*. 10(2), 181-213.
- Zuñiga, A., Ross, D. y Carrodegua, A. (2021). Fundamentos para la mejora genética de ovinos en Costa Rica. *Repertorio Científico*, 24(1), 79-95.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE HONGOS FITOPATÓGENOS ASOCIADOS A CUATRO CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa*) DE PANAMÁ

MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF PHYTOPATHOGENIC FUNGI ASSOCIATED WITH FOUR RICE CULTIVARS (*Oryza sativa*) FROM PANAMA

*Palma Araúz, Angélica Alejandra. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Fitotecnia, Panamá. angelica.palma-a@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-2095-6168>

Ureta, José Carlos. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Protección Vegetal, Panamá. jose.ureta@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0006-9034-0122>

Rodríguez Justavino, Delfida. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Subcentro de Alanje, Chiriquí, Panamá. delfidar@yahoo.es <https://orcid.org/0009-0003-3760-8589>

*Autor de Correspondencia: angelica.palma-a@up.ac.pa
DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4516>

Recibido: 08/04/2023

Aceptado: 10/08/2023

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue identificar a nivel taxonómico especies de hongos fitopatógenos asociados a cuatro cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) en tres zonas arroceras de Panamá: Barú, Alanje y Guánico Abajo. Se evaluaron tres cultivares codificados ubicados en la provincia de Chiriquí: 1) rendimiento 1, parcela 12, localidad Berbá, Barú; 2) rendimiento 1, parcela 20, localidad Berbá, Barú; 3) rendimiento 1, parcela 2, localidad Canta Gallo; y una variedad ubicada en la provincia de Los Santos: 4) cultivar Estrella 71, localidad Guánico Abajo, Agrícola DELI. Se colectaron alrededor de 40 muestras a lo largo de las épocas seca y lluviosa de los años 2016, 2018 y 2019, durante la fase vegetativa y fase de maduración y llenado del grano. Se realizaron aislamientos en cámaras húmedas e incubación en medios de cultivo PDA, CLA y Agar Agua, para obtener cultivos puros y posteriormente caracterizar estructuras macroscópicas y microscópicas. La identificación de especies de hongos se llevó a cabo utilizando las claves taxonómicas propuestas por Ou (1985), Sivanesan (1992) y Seifert (1996). En la provincia de Chiriquí se identificó la mayor cantidad de especies, incluyendo *Curvularia cf. lunata*, *Curvularia cf. geniculata*, *Bipolaris cf. oryzae*, *Nigrospora cf. oryzae* y *Fusarium sp* en la región de Berbá Barú, y en la región de Canta Gallo, Alanje, las especies *Nigrospora cf. oryzae* y *Bipolaris sorokiniana*. Finalmente, en la provincia de Los Santos, en la localidad de Guánico Abajo, se pudo identificar la especie *Curvularia cf. verruculosa*. De los hongos fitopatógenos previamente mencionados, los géneros *Curvularia* y *Fusarium* fueron aislados de muestras de granos, mientras que el género *Nigrospora* y *Bipolaris* se aisló tanto de tejido foliar como de grano.

PALABRAS CLAVE: *Oryza sativa* L., hongos fitopatógenos, aislamiento, incubación, cultivos puros, estructuras microscópicas, taxonomía.

ABSTRACT. The objective of this research was to identify at a taxonomic level species of phytopathogenic fungi Associates with four rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in three rice-growing areas of Panama: Baru, Alanje and Guanico Abajo. Three codified cultivars located in the province of Chiriqui were evaluated: 1) yield 1, plot 12, locality Berba, Baru; 2) yield 1, plot 20, locality Berba, Baru; 3) yield 1, plot 2, Canta Gallo locality; and one variety located in the province of Los Santos: 4) cultivar Estrella 71, Guánico Abajo locality, Agrícola DELI. Around 40 samples were collected throughout the dry and rainy seasons of 2016, 2018, and 2019, during the vegetative and grain ripening and filling phases. Isolations were performed in humid chambers and incubation in PDA, CLA and Water Agar culture media, to obtain pure cultures and subsequently characterize macroscopic and microscopic structures. The identification of fungal species was carried out using the taxonomic keys proposed by Ou (1985), Sivanesan (1992) and (Seifert, 1996). In the province of Chiriqui, the greatest number of species were identified, including *Curvularia cf. lunata*, *Curvularia cf. geniculata*, *Bipolaris cf. oryzae*, *Nigrospora cf. oryzae* and *Fusarium sp* in the region of Berba Baru, and in the region of Canta Gallo, Alanje, the species *Nigrospora cf. oryzae* and *Bipolaris sorokiniana*. Finally, in the province of Los Santos, in the locality of Guanico Abajo, the species *Curvularia cf. verruculosa* was

identified. Of the previously mentioned phytopathogenic fungi, the genera *Curvularia* and *Fusarium* were isolated from grain samples, while the genera *Nigrospora* and *Bipolaris* were isolated from both leaf and grain tissue.

KEYWORDS: *Oryza sativa* L, phytopathogenic fungi, isolation, incubation, pure cultures, microscopic structures, taxonomy.

INTRODUCCIÓN

Samal y Parida (2021), indican que el cultivo del arroz es atacado por alrededor de 50 enfermedades, siendo los hongos fitopatógenos el grupo de mayor incidencia y relevancia, esto debido a su capacidad de adaptarse a diferentes agroecosistemas y afectar los cultivos en zonas templadas, tropicales y bajo cualquier sistema de cultivo, bien sea seco, seco favorecido o irrigado (Prado, 2016). Debido a las condiciones ambientales de nuestro país, principalmente el régimen de lluvias existe una gran incidencia de enfermedades fúngicas, causadas principalmente por los siguientes especímenes: *Fusarium* (Link), *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch, *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn, *Curvularia geniculata* (Tracy & Earle) Boedijn, *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker. Desde el punto de vista económico, estos hongos fitopatógenos representan una gran preocupación en el entorno productivo, ya que son responsables de producir: pérdidas de miles de hectáreas en producción, mermas en los rendimientos y disminución en la calidad del producto final (Peng et al., 2021).

Cuando a enfermedades fúngicas se hace referencia, un adecuado diagnóstico y la exclusión de síntomas similares de menor importancia, son factores decisivos en la toma de decisiones en cuanto al manejo del cultivo, definición y aplicación de prácticas de regulación eficaces, del mismo modo que la sostenibilidad económica, social y ambiental de las mismas (Rivas et al., 2008). Un adecuado diagnóstico se basa principalmente en la observación de síntomas y el estudio de los organismos asociados en comparación con registros existentes. En el caso de los hongos, donde la complejidad de los sistemas reproductivos permite apreciar una alta diversidad de estructuras tanto asexuales como sexuales, esta información debe ser complementada con la obtención de cultivos puros del patógeno por técnicas microbiológicas de aislamiento, además del empleo de la microscopía y estudios taxonómicos (Gaitán, 2003).

En la república de Panamá existen registros de estudios donde se emplea el aislamiento e identificación de hongos utilizando claves taxonómicas, caracterizaciones y comparaciones con especímenes de diferentes herbarios. En el análisis de: “Dos nuevas especies de *Appendiculella* (Meliolaceae) de Panamá (Rodríguez y Piepeming, 2007)”, se llevó a cabo mediciones de ascosporas y estructuras celulares, además de la preparación de placas semipermanentes para su posterior análisis. Por otra parte, en la investigación de “Nuevas especies y nuevos registros de Meliolaceae de Panamá (Rodríguez et al., 2015)”, se colectaron plantas con hongos (Meliolales), de donde se extrajeron hifas y peritecios visualizadas en placas semipermanentes.

La taxonomía desempeña un papel importante en el estudio de microorganismos, ya que deriva en una herramienta esencial para la identificación no sólo del género sino también de la especie del organismo agresor, apoyada principalmente en la recolección de datos cualitativos, caracterizaciones y el empleo de claves taxonómicas. Por consiguiente, el objetivo principal de esta investigación fue aislar e identificar a nivel taxonómico hongos fitopatógenos asociados a

cultivares de arroz de Panamá, y de este modo, confirmar la existencia de interacción entre los principales hongos fitopatógenos de interés y el cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para llevar a cabo esta investigación, se seleccionaron tres zonas arroceras del país donde se realizaron las colectas (Tabla 1). Dos de estas regiones se encuentran ubicadas en la provincia de Chiriquí: 1) la localidad de Berbá, Barú y 2) Canta Gallo, Alanje. La tercera zona corresponde a la localidad de Guánico Abajo, Agrícola DELI, situada en la provincia de Los Santos.

Las muestras fueron colectadas en parcelas comerciales de productores a lo largo de las épocas seca y lluviosa de los años 2016, 2018 y 2019, durante la fase vegetativa y fase de maduración y llenado del grano. Durante la fase vegetativa, se colectaba únicamente tejido foliar. Por otro lado, durante la fase de maduración y llenado de grano, la muestra se tomaba a la altura del primer nudo del tallo principal, seleccionando hoja bandera y panícula.

Para el desarrollo de este estudio, se seleccionaron cuatro cultivares de las regiones previamente mencionadas. De cada cultivar, se eligieron y procesaron 10 muestras al azar, dando como resultado un total de 40 muestras analizadas. Posteriormente, las muestras colectadas fueron procesadas en el Laboratorio de Biología Molecular del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Subcentro de Alanje, provincia de Chiriquí.

Tabla 1

Descripción de las muestras analizadas en el laboratorio, procedentes de diferentes áreas productoras de Panamá.

N°	Cultivar	Fecha de colecta	Localidad	Provincia	Altitud
1	Codificado: Rendimiento 1 Parcela 12	03/02/19	Berbá, Barú	Chiriquí	26 m. s. n. m.
2	Codificado: Rendimiento 1 Parcela 20	03/02/19	Berbá, Barú	Chiriquí	26 m. s. n. m.
3	Estrella 71	12/10/18	Guánico Abajo, Agrícola DELI	Los Santos	25 m. s. n. m.
4	Codificado: Rendimiento 1 Parcela 2	06/05/16	Canta Gallo	Chiriquí	21 m. s. n. m.

Metodología del muestreo

El área de muestreo se seleccionó de forma aleatoria en las cuatro localidades previamente descritas, tomando como criterio de selección tejido foliar y panículas que exhibían manchas irregulares de coloraciones marrones a negras y crecimiento micelial, síntomas presuntivos de enfermedades fúngicas. Todo el material colectado en bolsas plásticas fue llevado al laboratorio y preservado a 4°C hasta el momento de su análisis.

Proceso de aislamiento fungoso

Las hojas y granos enfermos se colocaron en cámaras húmedas con papel filtro estéril, humedecido con agua destilada estéril, e incubados a 28 ° C por un periodo de 7-10 días. También, se realizaron siembras directas de tejido foliar y granos en medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) con antibióticos, como la estreptomycin. El crecimiento fungoso obtenido de las cámaras húmedas y siembras directas fueron colocados en medio de cultivo PDA (Tuite, 1969).

Purificación de muestras

Se cortó pequeñas secciones del borde de las colonias en crecimiento, utilizando agujas de disección y bisturí flameados. Estas pequeñas porciones de micelio o bien agar y micelio se depositaron en platos Petri con medio de cultivo estéril para obtener cultivos puros del hongo de interés (Tuite, 1969).

Aislamiento monospórico

Para establecer un cultivo confiable, fue necesario llevar a cabo aislamientos monospóricos que garantizaran la autenticidad y pureza de estos y de los datos obtenidos (French y Hebert, 1980). Este proceso consistió en realizar un frotado en zigzag con un asa esterilizada en medio de cultivo agar agua, transcurridas 24 horas se seleccionó una espora que se encontrara aislada y se sembró en medio de cultivo PDA con antibiótico.

Cultivo del hongo fitopatógeno

Tomando como base la metodología descrita por French y Hebert (1980) se procedió a cultivar el hongo fitopatógeno de interés en medio de cultivo, bajo condiciones controladas de esterilidad y asepsia. Tan pronto se observó crecimiento de micelio, se realizó un raspado del medio de cultivo, luego se llevó a cabo la siembra de las esporas o micelio colectadas en el raspado en un nuevo plato Petri con medio de cultivo PDA con antibiótico o CLA (agar, agua, hojas de clavel) y se procedió a cerrar herméticamente el plato Petri con parafilm.

Posteriormente, los platos Petri fueron incubados a una temperatura de 28 °C, por un periodo de 5 – 7 días aproximadamente, de acuerdo con el desarrollo que presentara el micelio del hongo de estudio.

Descripción e identificación de hongos fitopatógenos

Luego de observar y verificar que el crecimiento de micelio correspondiera a hongos fitopatógenos de interés en el cultivo del arroz, se prepararon placas semipermanentes utilizando alcohol polivinílico. El proceso de descripción consistió en observaciones y registro de características macroscópicas como: forma de la colonia, coloración característica en el medio de cultivo, presencia de halos de crecimiento y apariencia; y microscópicas como color, forma y septación de conidios y conidióforos, de acuerdo con lo propuesto por Agrios (2005). Por otra parte, se realizaron mediciones de largo y ancho de estructuras microscópicas empleando una rejilla de medición previamente calibrada e incorporada al microscopio de luz.

Culminada la etapa de descripción, se procedió a la identificación donde se implementó un método comparativo a través de fotografías de estructuras microscópicas y macroscópicas y el uso de las claves taxonómicas (Ou, 1985; Sivanesan, 1992; Seifert, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Se procesaron un total de 40 muestras, correspondientes a granos y hojas con síntomas de hongos asociados a los cuatro cultivares de *O. sativa* en Panamá, de las cuales se realizaron diez aislamientos de hongos fitopatógenos pertenecientes a los géneros *Curvularia*, *Nigrospora*, *Fusarium* y *Bipolaris* (Tabla 2). De los hongos fitopatógenos identificados; seis fueron aislados de granos, los géneros *Curvularia* y *Fusarium*. Y el género *Nigrospora* y *Bipolaris* se aisló tanto en hoja como en grano.

Tabla 2

Descripción morfológica de hongos fitopatógenos aislados de cultivares de arroz (O. sativa) de Panamá.

Especies	Descripción de colonia	Conidios, esporas	Conidióforos
<i>Curvularia lunata</i>	<i>cf.</i> Micelio esponjoso color café oscuro a negro con bordes de color marrón claro a naranja.	Conidios color café oscuro, 18–25 x 10–13 μm , paredes lisas, 3 septos, 4 células.	Erectos, color café oscuro, septados, 2–4 μm de ancho.
<i>Curvularia verruculosa</i>	<i>cf.</i> Micelio esponjoso color café oscuro a negro en el lado dorsal del plato, el lado ventral color negro donde se observa ligeramente la formación de anillos concéntricos.	Conidios de color café claro a hialinos, 20–26 x 9–11 μm , ligeramente curvados, con ornamentaciones en la pared en estadios jóvenes y maduros, 3 septos, 4 células.	Erectos, flexuoso en el ápice, de color café oscuro, septados, 3–5 μm de ancho.
<i>Curvularia geniculata</i>	<i>cf.</i> Micelio de apariencia lanosa, color café oscuro	Conidios de color café oscuro, 28–33 x 11–14 μm , geniculados, de	Erectos, de color café oscuro,

Especies	Descripción de colonia	Conidios, esporas	Conidióforos
	a negro formando círculos concéntricos.	paredes lisas, 4 septos, 5 células.	curvados, septados, 4 – 7 µm de ancho.
<i>Nigrospora oryzae</i> cf.	Micelio incoloro, de apariencia esponjosa, con regiones negras y grises en la superficie del lado dorsal del plato; el lado ventral del plato color crema con dos anillos de 3,3 cm y 11,7 cm de radio al punto central respectivamente.	Esporas de color negro, unicelulares, de forma globosa a subglobosa, 9 – 12 x 13 – 15 µm.	Cortos y simples, hialinos, 6 – 8 µm de ancho.
<i>Fusarium sp.</i>	Aislamiento 1: Micelio color naranja pálido, esponjoso, con círculos concéntricos de color rosado en el lado dorsal del plato; en el lado ventral micelio color naranja intenso en el centro y naranja-amarillo en los bordes de los círculos concéntricos. Aislamiento 2: Micelio ligeramente algodonoso, color marrón-grisáceo, en los bordes de color rojo vino-rosado en el lado dorsal del plato; micelio color café oscuro en el centro, con bordes presentando una tonalidad de rojo vino a rosado en el lado ventral del plato.	Macroconidios de color hialinos, ligeramente curvados, 5 septos, 6 células, 40 – 54 x 3 – 4 µm. Célula basal en forma de pies, 3 – 5 µm de largo, célula apical delgada, en forma de gancho. Clamidosporas de color amarillo-verdoso, de paredes lisas, de globosa-subglobosa, terminales e intercalares, solitarias, en pares y catenuladas (5 – 6), 9 – 13 x 8 – 13 µm.	–
<i>Bipolaris sorokiniana</i> cf.	Micelio de apariencia poco esponjosa, color café oscuro a negro formando círculos concéntricos, en el lado ventral del plato con dos anillos de 2,7 cm y 2,0 cm de radio del punto central respectivamente.	Conidios de color café oscuro, 67 – 94 x 16 – 20 µm, con extremos más claros, 8 pseudoseptas, 7 células.	Erectos, geniculado en el ápice, de color café oscuro, septados 4 – 6 µm de ancho.

Especies	Descripción de colonia	Conidios, esporas	Conidióforos
<i>Bipolaris oryzae</i> cf.	Micelio de apariencia esponjosa, color grisáceo oscuro a negro mostrando en los bordes una coloración verde-azulosa en el lado dorsal del plato; en el lado ventral del plato se observa micelio de color café oscuro a negro con bordes ligeramente oliváceos.	Conidios de color café claro, curvados, 76 – 102 x 14 – 17 µm, de paredes lisas, mostrando germinación bipolar, 6 – 11 pseudoseptas, 7 – 12 células	Erectos, de color café oscuro, generalmente geniculados en la región apical, septados 5 – 7 µm de ancho.

De los diez aislamientos obtenidos, uno corresponde a la especie *Curvularia* cf. *lunata* (Figura 1), 1 a la especie *Curvularia* cf. *geniculata* (Figura 1), 1 a la especie *Curvularia* cf. *verruculosa* (Figura 1), 2 a la especie *Nigrospora* cf. *oryzae* (Figura 2), 1 a la especie *Bipolaris* cf. *sorokiniana* (Figura 3), 2 a la especie *Bipolaris* cf. *oryzae* (Figura 3) y 2 a la especie *Fusarium* sp (Figura 4).

La distribución geográfica de los hongos fitopatógenos identificados fue la siguiente, ocho en la provincia de Chiriquí, sobre cultivares codificados y uno en la provincia de Los Santos, sobre el cultivar Estrella 71 (Tabla 3).

Tabla 3

Distribución de los hongos fitopatógenos identificados atendiendo a la localidad y provincia donde fueron colectadas las muestras.

Especie	Cultivar	Localidad	Provincia
<i>Curvularia</i> cf. <i>lunata</i> <i>Bipolaris</i> cf. <i>oryzae</i> <i>Fusarium</i> sp.	Codificado: R1 P12	Berbá, Barú	Chiriquí
<i>Curvularia</i> cf. <i>geniculata</i> <i>Nigrospora</i> cf. <i>oryzae</i> <i>Bipolaris</i> cf. <i>oryzae</i>	Codificado: R1 P20	Berbá, Barú	Chiriquí
<i>Nigrospora</i> cf. <i>oryzae</i> <i>Bipolaris</i> cf. <i>sorokiniana</i>	Codificado: R1 P2	Canta Gallo, Alanje	Chiriquí
<i>Curvularia</i> cf. <i>verruculosa</i>	Estrella 71	Guanico Abajo	Los Santos

Figura 1

Especies del género *Curvularia* asociados a arroz en medio de cultivo PDA. **A.** Colonia de *Curvularia* cf. *lunata*. **B.** Conidios. **C.** Conidióforo subtendiendo conidios en la parte apical. **D – E.** Conidios con germinación polar. **F.** Colonia de *Curvularia* cf. *verruculosa*. **G-I.** Conidios. **J.** Conidióforo subtendiendo los conidios. **K.** Colonia de *Curvularia* cf. *geniculata*. **L.** Conidios. **M.** Conidióforo flexuoso y curvado en la parte apical. **N.** Conidióforo erecto subtendiendo los conidios en la parte apical.

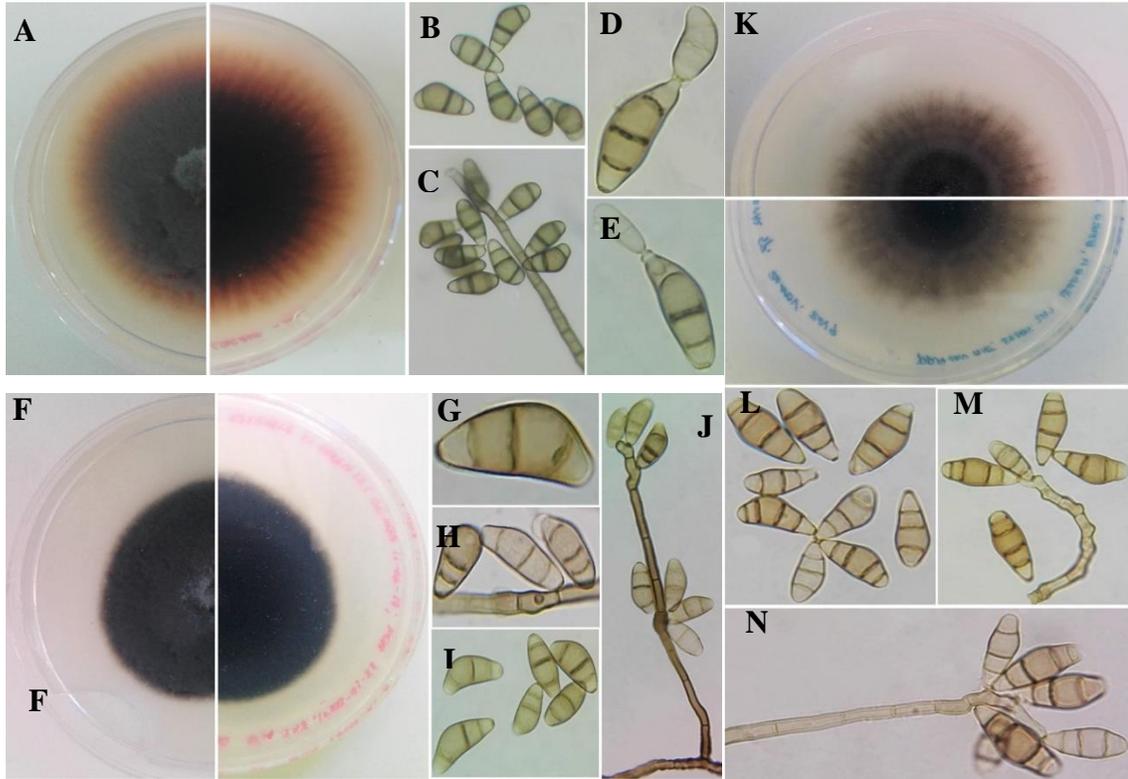


Figura 2

Nigrospora cf. *oryzae*. **A – B.** Vista dorsal y ventral del medio de cultivo. **C – D.** Células conidiógenas subtendiendo a las esporas. **E.** Conidióforo y vesícula.

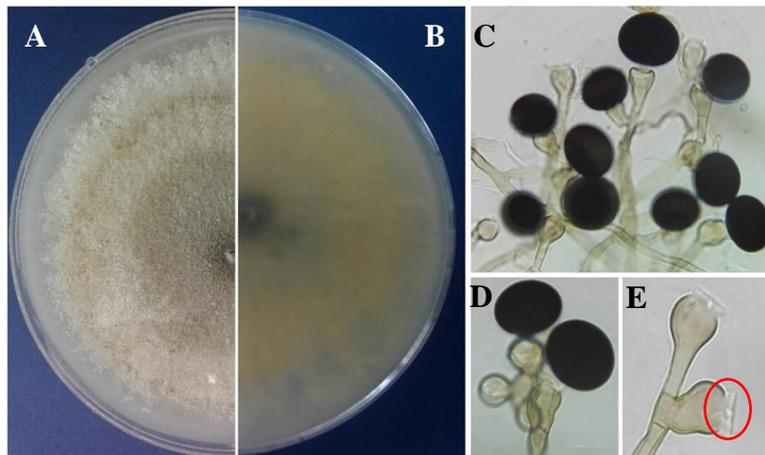


Figura 3

Fusarium sp. **A – B.** Vista dorsal y ventral del medio de cultivo a los 6 días de crecimiento. **C – D.** Vista dorsal y ventral del medio de cultivo a los 30 días de crecimiento. **E-F.** Conidios. **G – I.** Clamidosporas en posición intercalar, catenuladas, terminales, solitarias y en pares.

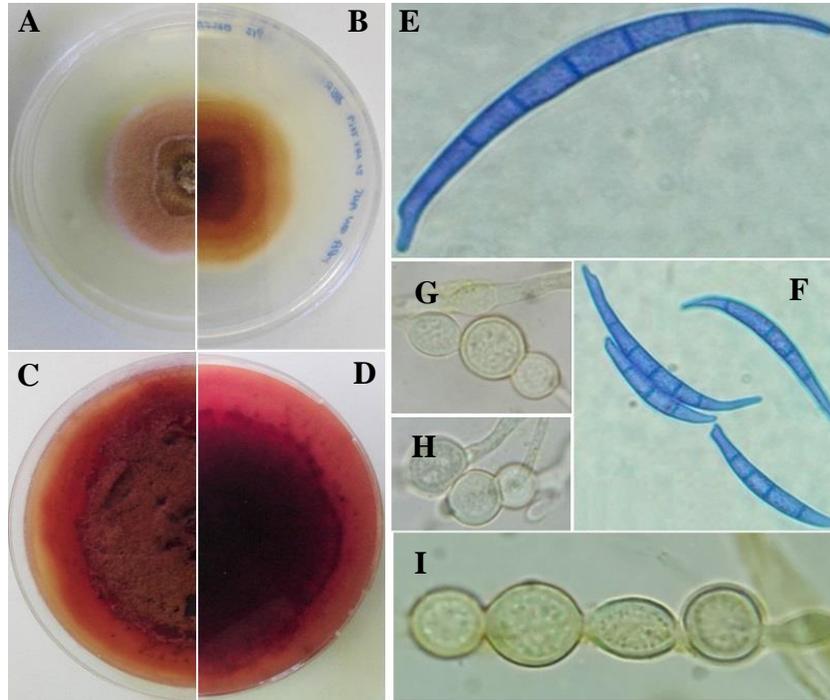
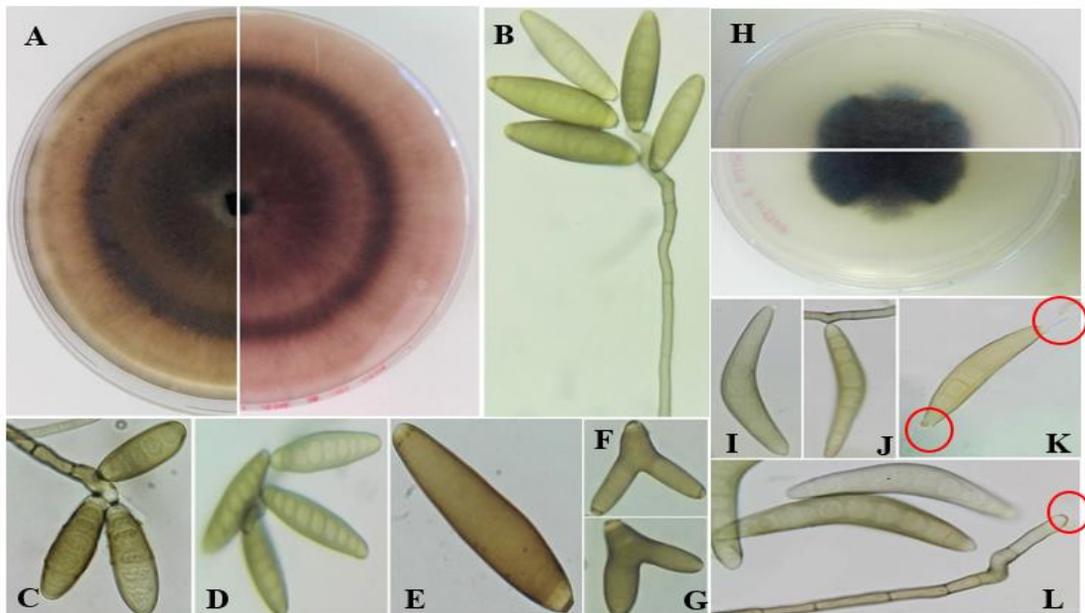


Figura 4

Especies del género *Bipolaris*. **A.** Colonia de *Bipolaris* cf. *sorokiniana*. **B – C.** Conidióforo flexuoso en la parte apical subtendiendo los conidios. **D – E.** Conidios **F – G.** Conidio atípico bifurcado. **H.** Colonia de *Bipolaris* cf. *oryzae*. **I – J.** Conidios. **K.** Conidio mostrando germinación bipolar. **L.** Conidióforo, mostrando punto de inserción del conidio.



DISCUSIÓN

La presente investigación proporciona información sobre la ocurrencia y distribución de cuatro géneros y seis especies de hongos fitopatógenos asociados al cultivo del arroz. Los datos proporcionados son de gran importancia en programas de mejoramiento genético y en la planificación para el manejo de enfermedades, creando un precedente para futuras investigaciones sobre las especies analizadas ya sea a nivel taxonómico y/o molecular sobre diferentes variedades de arroz en diversas zonas arroceras del país.

Dentro de las especies identificadas se encuentran *C. cf. lunata*, *C. cf. geniculata*, *B. cf. oryzae* y *B. cf. sorokiniana*, según Pinciroli et al. (2013) estos hongos son fitopatógenos de importancia económica en la agricultura, con ocurrencia principalmente en regiones tropicales; corresponden a los géneros *Bipolaris* y *Curvularia*, este último cuya taxonomía ha cambiado muchas veces para ubicar su etapa asexual y sexual. La confusión en la nomenclatura de *Curvularia* surgió debido a que, *Bipolaris*, un género relacionado, tiene como su etapa teleomórfica a *Cochliobolus*. Wijayawardene et al. (2014) indica que se decidió conservar el nombre anamórfico *Curvularia* sobre *Cochliobolus* al ser ampliamente utilizado por investigadores.

Por otra parte, con respecto al género *Bipolaris* se dio prioridad a su nomenclatura sobre *Cochliobolus* debido a su importancia económica como causante de enfermedades en plantas (Rossman et al., 2013; Manamgoda et al., 2014). Es importante mencionar, dentro de este género, el caso de la especie en estudio *B. oryzae* cuyo basónimo, es decir, el nombre científico bajo el cual fue originalmente catalogado es *Helminthosporium oryzae*, y sus sinónimos obligados son *Drechslera oryzae* y *Luttrellia oryzae* (Shoemaker, 1959; Manamgoda et al., 2012).

Estos hongos fitopatógenos han sido reportados como organismos destructivos en cultivos de elevado valor económico principalmente en la familia Poaceae, incluyendo el arroz, maíz y sorgo (Manamgoda et al., 2014). En el cultivo del arroz estos géneros han sido informados provocando daños en granos. Rashid (2001) menciona alrededor de 12 especies de *Curvularia* detectadas en semillas de arroz, la sintomatología es descrita particularmente como manchados y decoloraciones (Ou, 1985; Estrada y Sandoval, 2004; Ahmadpour et al., 2017), siendo estos indicadores tempranos de rendimientos y calidad deficientes. A pesar de que las especies de *Curvularia* y *Bipolaris* se describen como patógenos de granos también pueden ocasionar lesiones en el tejido foliar.

Sivanesan (1987) describe manchas foliares provocadas por *C. lunata* y *C. geniculata*, además el mismo autor hace referencia a la presencia de *C. verruculosa* en muestras foliares de arroz, sin embargo, no menciona con exactitud si es patogénica para las plantas. A su vez, *B. oryzae* y *B. sorokiniana* se han reportado originando manchas marrones en la lámina de las hojas (Ahmadpour et al., 2017; Aslam et al., 2022), siendo el primero causante de la enfermedad epidémica de la mancha marrón del arroz en la India (Scheffer, 1997). Cabe destacar que *B. oryzae* es un patógeno de distribución mundial con ocurrencia en todos los países productores de arroz en Asia, América y África (Ou, 1985).

Fusarium sp. fue una de las especies descritas en los aislamientos. Es un patógeno habitual en la agricultura y de distribución universal, fue reportado por primera vez en Japón en el año 1898 por Hori (Ou, 1985). Pinciroli et al. (2013) señala su presencia en el cultivo del arroz causando

pérdidas en campo, y en etapas posteriores a la cosecha generando micotoxinas que impiden su procesamiento y consumo. Existen registros de su ocurrencia en un gran número de cultivos de importancia en el país, entre ellos, el plátano y el banano como el agente causal de una de las enfermedades de mayor impacto y alcance, el “mal de Panamá” afectando el sistema vascular de la planta (Alarcón y Jiménez, 2012), sintomatología similar en el cultivo del tomate industrial (Guerra et al., 2016), en el maíz ocasiona pudriciones en el tallo y la mazorca (Gordón, 2012). En la piña, es considerada la mayor amenaza en su producción, puesto que ocasiona pudriciones y exudaciones gomosas en la fruta y la planta en general (Buitrago, 2018). También se hace referencia a afecciones en leguminosas forrajeras como el *Arachis pintoii* (Montenegro y Pinzón, 1997) y en cucurbitáceas, específicamente en la sandía, exhibiendo como sintomatología un amarillamiento y marchitez parcial o total de la planta o bien como parte del complejo de hongos que causa el mal del talluelo (Osorio et al., 2012).

Otra de las especies identificadas fue *N. oryzae*, género *Nigrospora*, de hábito principalmente saprófito (Ou, 1985). Su ocurrencia se da cuando las plantas de arroz son débiles como resultado de deficiencias nutricionales, condiciones climáticas desfavorables o por el ataque de enfermedades e insectos, este hongo se presenta afectando glumas, tallos, hojas y otras partes de la planta (Ou, 1985). Cuatro especies han sido reportadas afectando el arroz, siendo *N. oryzae* y *N. sphaerica* las más comunes. Estas especies poseen una gran similitud morfológica, no obstante, es posible diferenciarlas principalmente por la forma y tamaño de sus conidias (Ou, 1985).

CONCLUSIÓN

- ❖ Se logró identificar los hongos fitopatógenos: *Curvularia cf. lunata*, *Curvularia cf. geniculata*, *Curvularia cf. verruculosa*, *Nigrospora cf. oryzae*, *Fusarium sp.*, *Bipolaris cf. oryzae*, *Bipolaris cf. sorokiniana*.
- ❖ La provincia de Chiriquí presentó la mayor cantidad de especies de hongos fitopatógenos, incluyendo *Curvularia cf. lunata*, *Curvularia cf. geniculata*, *Bipolaris cf. oryzae*, *Nigrospora cf. oryzae* y *Fusarium sp* en la región de Barú, y en la región de Alanje, las especies *Nigrospora cf. oryzae* y *Bipolaris sorokiniana*. Mientras que en la provincia de Los Santos únicamente se identificó la especie *Curvularia cf. verruculosa*.
- ❖ Se encontró una mayor incidencia de hongos fitopatógenos en grano que en tejido foliar. Los géneros *Curvularia* y *Fusarium* fueron aislados de muestras de granos, mientras que el género *Nigrospora* y *Bipolaris* se aisló tanto de tejido foliar como de grano.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al apoyo del proyecto 501.B.01.08 del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). También queremos agradecer a la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Chiriquí, Universidad de Panamá por las facilidades brindadas.

REFERENCIAS

- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Academic Press, New York.
- Ahmadpour, A., Castell-Miller, C., Javan-Nikkhah, M., Naghavi, M. R., Dekkaei, F. P., Leng, Y., Puri, K. D. & Zhong, S. (2017). Population structure, genetic diversity, and sexual state of the rice Brown spot pathogen *Bipolaris oryzae* from three Asian countries [Estructura de la población, diversidad genética y estado sexual del patógeno de la mancha parda del arroz *Bipolaris oryzae* de tres países asiáticos]. *Plant Pathology*, 67(1), 181-192. <https://doi.org/10.1111/ppa.12714>
- Alarcón, J. y Jiménez, Y. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del plátano (*Musa spp.*). IICA. Bogotá D.C., Colombia. p. 20.
- Aslam, H. M., Khan, N. A., Hussain, S. I., Ali, Y., Raheel, M., Shahzad, R., Jamil, S., Yasin, O., Ali, S. & Amrao, L. (2022). First Report of Brown Leaf Spot of Rice (*Oryza sativa*) caused by *Bipolaris sorokiniana* in Pakistan [Primer informe de la mancha marrón de la hoja del arroz (*Oryza sativa*) causada por *Bipolaris sorokiniana* en Pakistán]. *Plant disease*, 106(6). <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-21-1097-PDN>
- Buitrago, M. (2018). Identificación morfológica y molecular de Fusarium, aislados del cultivo de la piña de la Provincia de Panamá Oeste (Tesis de Maestría). Universidad de Panamá. Panamá. <http://up-rid.up.ac.pa/1442/1/marcos%20buitrago.pdf>
- Estrada, G. y Sandoval, I. (2004). Patogenicidad de especies de *Curvularia* en arroz. *Fitosanidad*, 8(4), 23-36. <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209117865004.pdf>
- French E. R. y Hebert T. T., 1980. Métodos de Investigación Fitopatológica. IICA. San José, Costa Rica.
- Gaitán, A. (2003). Las enfermedades de las plantas y su diagnóstico. Enfermedades del cafeto en Colombia. Colombia. Editorial Especial Impresores. p. 21-33.
- Gordón, R. (2012). Manejo Integral del Cultivo de Maíz. IDIAP. Panamá. p. 8.
- Guerra, J. A., Villarreal, J. E., Herrera, J. A., Aguilera, V. y Osorio, O. (2016). Manual técnico de Manejo Integrado del Cultivo de Tomate Industrial. IDIAP. Panamá. p. 37.
- Manamgoda, D. S., Cai, L., McKenzie, E. H. C., Crous, P. W., Madrid, H., Chukeatirote, E., Shivas, R. G., Tan, Y. P. & Hyde, K. D. (2012). A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the *Bipolaris* - *Cochliobolus* - *Curvularia* Complex [Una reevaluación filogenética y taxonómica del complejo *Bipolaris* - *Cochliobolus* - *Curvularia*]. *Fungal Diversity*, 56, 131-144. <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0189-2>

- Manamgoda, D.S., Rossman, A. Y., Castlebury, L. A., Crous, P. W., Madrid, H., Chukeatirote, E. & Hyde, K. D. (2014). The genus *Bipolaris* [El género *Bipolaris*]. *Studies in Mycology*, 79, 221-288. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2014.10.002>
- Montenegro, R. y Pinzón, B. (1997). Maní Forrajero (*Arachis pintoi* Krapovickas y Gregory). Una Alternativa para el sostenimiento de la ganadería en Panamá. IDIAP. Panamá. p. 10.
- Osorio, N., González, R., Guerra, J. y Aguilera, V. (2012). Manejo Integral del Cultivo de Sandía. IDIAP. Panamá. p. 22.
- Ou, S. (1985). Rice Diseases [Enfermedades del Arroz]. Wisconsin, Estados Unidos. Editorial Commonwealth Mycological Institute. 316 – 320 pp.
- Peng, Y., Li, S. J., Yan, J., Tang, Y., Cheng, J. P., Gao, A. J., Yao, X., Ruan, J. J. & Xu, B.L. (2021). Research Progress on Phytopathogenic Fungi and Their Role as Biocontrol Agents. *Frontiers in Microbiology*, 12: 670135. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.670135>
- Pincioli, M., Gribaldo, A., Vidal, A., Bezus, R. & Sisterna, M. (2013). Mycobiota evolution during storage of paddy, brown and milled rice in different genotypes [Evolución de la microbiota durante el almacenamiento de arroz paddy, integral y molido en diferentes genotipos]. *Summa Phytopathologica*, 39(3). <https://doi.org/10.1590/S0100-54052013000300002>
- Prado, G. (2016). Caracterización genética y patotípica del hongo *Magnaporthe oryzae* en cultivos de arroz en Colombia (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- Rashid, M. (2001). Detection of *Curvularia* species on Boro Rice seeds of Dinajpur [Detección de especies de *Curvularia* en semillas de Arroz Boro de Dinajpur]. *Journal of Biological Sciences*, 1, 591-592. <https://dx.doi.org/10.3923/jbs.2001.591.592>
- Rivas, E., De Armas, Y., Hernández, L., Ramírez, M., Drake, L. y Medina, R. (2008). El diagnóstico y su papel en la fitoprotección. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 12 (35), 47-54.
- Rodríguez, D. & Piepembring, M. (2007). Two new species of *Appendiculella* (Meliolaceae) from Panamá [Dos nuevas especies de *Appendiculella* (Meliolaceae) de Panamá]. *The Mycological Society of America*, 99(4), 544-552. <http://dx.doi.org/10.3852/mycologia.99.4.544>
- Rodríguez, D., Kirschner, R. & Piepembring, M. (2015). New species and new records of Meliolaceae from Panama [Nuevas especies y nuevos registros de Meliolaceae de Panamá]. *Fungal Diversity*, 70(1), 73-84. <http://dx.doi.org/10.1007/s13225-014-0292-7>
- Rossman, A. Y., Manamgoda, D. S. & Hyde, K. D. (2013). Proposal to conserve the name *Bipolaris* against *Cochliobolus* (Ascomycota: Pleosporales: Pleosporaceae) [Propuesta de

conservación del nombre *Bipolaris* frente a *Cochliobolus* (Ascomycota: Pleosporales: Pleosporaceae)]. *Taxon*, 62, 1331-1332.

- Samal, S. & Parida, S. (2021). Major Fungal Diseases of Rice: A Case Study [Principales Enfermedades Fúngicas del Arroz: Un Caso de Estudio]. *Asian Journal of Biological and Life Sciences*, 10(2), 469-475. <https://www.ajbls.com/sites/default/files/AsianJBiolLifeSci-10-2-469.pdf>
- Seifert, K. (1996). *Fusarium interactive key*. Ottawa, Canada. Editorial Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch, Eastern Cereal & Oilseed Research Centre.
- Shoemaker, R. A. (1959). Nomenclature of *Drechslera* and *Bipolaris*, grass parasites segregated from 'Helminosporium' [Nomenclatura de *Drechslera* y *Bipolaris*, parásitos de gramíneas segregados de 'Helminosporium']. *Canadian Journal of Botany*. 37(5), 879-887. <https://doi.org/10.1139/b59-073>
- Sivanesan, A. (1987). Graminicolous species of *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Exserohilum* and their teleomorphs [Especies gramíneas de *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Exserohilum* y sus teleomorfos]. *Mycological Papers*, 158, 1-261.
- Sivanesan, A. (1992). New *Bipolaris*, *Curvularia* and *Exserohilum* species [Nuevas especies de *Bipolaris*, *Curvularia* y *Exserohilum*]. *Mycological Research*, 96, 485-489.
- Scheffer, R. P. (1997). *The nature of disease in plants* [La naturaleza de la enfermedad en las plantas]. Cambridge University Press, New York.
- Tuite, J. (1969). *Plant Pathological Methods. Fungi and Bacteria*. Burgess Publishing Company, Minneapolis.
- Wijayawardene, N. N., Crous, P. W., Kirk, P. M. *et al.* (2014). Naming and outline of dothideomycetes – 2014 including proposals for the protection or suppression of generic names [Nombre y esquema de dothideomycetes – 2014, incluidas propuestas para la protección o supresión de nombres genéricos]. *Fungal Divers*, 69, 1-55. <https://doi.org/10.1007%2Fs13225-014-0309-2>

EFFECTS OF A *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* FERMENTATION PRODUCT ON GROWTH PERFORMANCE OF LITTERS, MILK COMPOSITION AND HEMATOLOGY PROFILE OF PRIMIPAROUS SOWS
EFFECTOS DE UN PRODUCTO DE FERMENTACIÓN CON *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* SOBRE EL DESEMPEÑO DE LAS CAMADAS, COMPOSICIÓN DE LA LECHE Y PERFIL HEMATOLÓGICO DE CERDAS PRIMERIZAS

*Santiago, José. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. joselss1599@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-8746-0177>

Montero-Prado, Pablo. Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Innovación y Transferencia de Tecnológica, Panamá. pablo.montero@utp.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-1471-2741>

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

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

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

*Autor de Correspondencia: richard.mudarra@up.ac.pa
DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4517>

Recibido: 18/04/2023

Aceptado: 18/10/2023

ABSTRACT. A total of 16 gilts (158,158±3.5 kg) were assigned to one of two treatments to determine the effect of a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product (SCFP) supplementation during lactation on performance of sows and litters. The treatments were: CT) formulated to meet the nutritional requirements according to the National Research Council, NRC (2012); SCFP) similar to CT, plus 0.88% SCFP. Feed intake (FI) was recorded daily from farrowing until day 21 of lactation. At birth and on days 7, 14, and 21 of lactation, the weight of the litters was recorded to determine body weight gain (BWG), and milk samples were taken to determine the nutritional composition of the milk. The FI of the sows and the BWG of the litters were stratified into three phases with 7 days per phase [phase 1 (P1: d1-7); phase 2 (P2: d8-14); phase 3 (P3: d15-21)]. Blood samples were collected from the sows on days 7, 14, and 21 of lactation to determine the hematological profile. A treatment per day interaction was obtained in the FI, with a higher FI in sows fed SCFP during P1 and P2, with no differences in P3 ($p<0.05$). No differences were found in the BWG of the litters during lactation ($p<0.05$). Furthermore, there were significant differences in the treatment per day interaction for leukocyte concentration ($p<0.05$). Sows supplemented with SCFP had a higher percentage of milk fat compared to CT sows ($p<0.05$). In conclusion, SCFP supplementation stimulated sow feed intake, milk fat content and leukocyte profile of primiparous sows during lactation, without exerting productive improvements in litter performance.

KEYWORDS: Feed intake, leukocytes, milk fat, piglets.

RESUMEN. Un total de 16 primerizas (158.158±3,5 kg) fueron asignadas a uno de dos tratamientos para determinar el efecto de la suplementación de un producto de fermentación de *Saccharomyces cerevisiae* (SCFP) durante la lactancia en el desempeño de las cerdas primerizas y las camadas. Los tratamientos fueron: CT) formulados para cubrir los requerimientos nutricionales según el Consejo Nacional de Investigación, NRC (2012); SCFP) similar a CT, más 0,88% de SCFP. El consumo de alimento (FI) se registró diariamente desde el parto hasta el día 21 de lactación. Al



nacimiento y en los días 7, 14 y 21 de lactancia, se registró el peso de las camadas para determinar la ganancia de peso (BWG), y se tomó muestras de leche para determinar la composición nutricional de la leche. El FI de las cerdas y la BWG de las camadas se estratificaron en tres fases con 7 días por fase [fase 1 (P1: d1-7); fase 2 (P2: d8-14); fase 3 (P3: d15-21)]. Se recolectaron muestras de sangre de las cerdas los días 7, 14 y 21 de lactancia para determinar el perfil hematológico. Se obtuvo una interacción tratamiento por día para FI, con un mayor FI en cerdas alimentadas con SCFP durante P1 y P2, sin diferencias en el P3 ($p < 0,05$). No se encontraron diferencias para la BWG de las camadas durante la lactancia ($p < 0,05$). Además, hubo diferencias significativas en la interacción tratamiento por día para la concentración de leucocitos ($p < 0,05$). Las cerdas suplementadas con SCFP tuvieron un mayor porcentaje de grasa láctea en comparación con las cerdas del CT ($p < 0,05$). En conclusión, la suplementación con SCFP estimuló el consumo de alimento de las cerdas, el contenido de grasa de la leche y el perfil leucocitario de las cerdas primíparas durante la lactancia, sin ejercer mejoras productivas en el rendimiento de la camada.

PALABRAS CLAVE: Consumo de alimento, leucocitos, grasa en leche, lechones.

INTRODUCTION

The immediate metabolic changes that are triggered at farrowing (Mosnier et al., 2010) as well as the high temperatures that sow commonly face in tropical conditions (Williams et al., 2013) compromise the adequate voluntary feed intake (FI) of sows, generating a nutritional imbalance, mainly of an energetic nature during the lactation period (Eissen et al., 2000; Renaudeau et al., 2001).

A reduction in FI generates several negative effects that affect the performance of sows and litters, such as loss of body reserves (Valros et al., 2003; Mosnier et al., 2010), reductions in milk production (Renaudeau et al., 2003; Ribeiro et al., 2018), delayed growth of litters (Renaudeau et al., 2001) and a marked increment in the weaning-service interval (Bertoldo et al., 2012; Renaudeau et al., 2012). Based on the above-mentioned, new nutritional strategies are necessary to counteract the productive and reproductive inefficiency of sows during lactation in tropical conditions.

Additives such as probiotics are used in pig diets to alleviate the effects of heat stress that are triggered during pregnancy and lactation (Kim et al., 2013). There are several commercial presentations of yeast products as additives for animal feed. Most of them are fermentable live yeast that offers the characteristics of a probiotic, while the same yeast are grown in a plant based substrate, acting as a prebiotic. However, the prebiotic plus the fermenting media to maintain the activity of yeast and also the metabolites obtained from yeast fermentation, offer the properties for being considered as postbiotic (Shen et al., 2011).

The inclusion in diets of *Saccharomyces cerevisiae* based products has been shown to improve milk production in dairy cattle (Ramsing et al., 2009; Poppy et al., 2012) as well as improvements on productive performance and meat quality in growing pigs (Davila et al., 2020). However, there is a lack of scientific information on the supplementation with a yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) during the prepartum period (15 days before farrowing) and lactation in gilts subjected to microenvironmental heat stress and its effects on hematological profile and milk quality in gilts and the performance of litters. Based on the above mentioned, the aim of this investigation was to evaluate the effects of a *Saccharomyces cerevisiae* based product (SCFP), with postbiotic

characteristics, on hematology profile, milk content, FI of sows and performance of litters during 21-days lactation period.

MATERIAL AND METHODS

The study was carried out at the Agricultural Research Center of the Faculty of Agricultural Sciences, province of Chiriqui (CEIACHI), located at 8°23'15.12" north latitude and 82°19'47.48" west longitude and with an elevation of 26 meters above sea level. The average environmental temperature and relative humidity during the morning were 25.43 °C and 87.36%, while 32.36 °C and 65.60% during the afternoon, respectively.

A total of 16 primiparous sows with an average body weight of 158 kg were randomly assigned to one of two dietary treatments under a naturally ventilated conventional facility. Each treatment consisted of 8 sows. The dietary treatments (trt) for each phase were: CT) formulated to meet the nutritional requirements established by the National Research Council, NRC (2012); SCFP) similar to CT, plus the addition of 0.88% of a commercial postbiotic obtained from the *Saccharomyces cerevisiae* fermentation plus the yeast skeletal structure (Table 1).

Sows moved to the farrowing facility when had 100 days of gestation, had 15 days of adaptation period to experimental diets, with a restricted intake of 2.5 kg of feed per day. The commercial product used was a postbiotic, which contained the final metabolites of the fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* plus the yeast skeletal structure. After farrowing, sows were fed for 21 days with their respective experimental diets having ad libitum access to feed and drinking water during the entire experiment. Sows were weighted on day 100 of gestation and on day 3 of lactation.

Feed intake (FI) and refusal was recorded daily to determine the average FI per day during the lactation. Regarding the litter, the weight was recorded at birth, and on days 7, 14, and 21 of lactation. All sows had similar litter size (10 pigs/littler). All litters were under the same sanitary protocol, which included administration of 200 mg of intramuscular iron on the second day after birth, tail docking, and identification or ear tattooing on day 4 after birth.

Tabla 1

Diet formulation and calculated chemical composition of diets.

Ingredients, % (Fresh basis)	Gestation		Lactation	
	CT	SCFP	CT	SCFP
Corn	50.63	49	44.46	42.5
Soybean meal	20.7	21.05	33.97	34
Rice polish	18.7	18.35	13.7	14
Molasses	5	5	3.2	3.2
Palm oil	2	2.75	1.78	2.53
Salt	0.4	0.4	0.4	0.4
M-dicalcium phosphate	0.4	0.4	0.45	0.45

Ca carbonate	1.55	1.55	1.45	1.45
Premix Vit-Min	0.3	0.3	0.3	0.3
L- Lysine	0.04	0.04	0.02	0.02
DL-Methionine	0.03	0.03	0.01	0.01
L-Threonine	0	0	0.01	0.01
Myco-AD A-Z	0.25	0.25	0.25	0.25
Yeast product	0	0.88	0	0.88
Calculated Chemical Composition (Dry based)				
Dry matter, %	87.60	87.7	87.7	87.7
ME, (Kcal/kg)	3300.73	3300.31	3300.99	3300.25
Crude protein, %	15.01	15.04	20.23	20.23
Calcium, %	0.79	0.79	0.79	0.79
Available Phosphorus, %	0.35	0.35	0.42	0.42
Lysine, %	0.79	0.79	1.11	1.11
Methionine, %	0.27	0.27	0.31	0.31
Threonine, %	0.55	0.55	0.77	0.77
Neutral detergent fiber, %	9.13	8.98	9.37	9.24
Acid detergent fiber, %	2.84	2.81	3.27	3.25

Samples of the experimental diets were pre-dried in a mechanical convection oven at 60°C for 72 hours (Yamato DKN810, New York, USA) and ground to a particle size of 2 mm (Restsch GmbH & Co., Germany) for further analysis of the nutritional content. The feed samples were placed in an oven at 105°C for 24 hours (40GC Lab. Oven; Quincy Lab. Inc.; IL, USA) to determine the percentage of dry matter, and then incinerated in an oven at 600°C for 3 hours (Thermolyne, Thermo Scientific, NC, USA) for the determination of ash content (Table 2). Mineral levels (Ca, P) were determined by atomic absorption spectrophotometry (Analytik Jena -nov 400P, Germany), while nitrogen was analyzed using the Kjeldahl methodology (Velp Scientifica, Germany).

Tabla 2
Chemical composition of diets.

Chemical Composition	Gestation		Lactation	
	CT	SCFP	CT	SCFP
Dry matter, %	86.9	87.1	87.0	87.10
Crude protein, %	15.0	15.1	20.6	20.72
Calcium, %	0.77	0.79	0.81	0.77
Available Phosphorus, %	0.35	0.36	0.41	0.40

Milk samples were collected during day 1, 7, 14, and 21 of lactation for composition analysis. Two ml of (40 IU) oxytocin was injected into the fold located 2 cm apart from the sow's vulva to stimulate milk secretion and facilitate milk collection, and milk samples were collected in sterile bags for milk collection. Additionally, the chemical parameters of milk (lactose, fat, protein, and non-fat solids) were determined using the Speedy Lab analyzer (Astori Tecnica snc, Brescia, Italy).

Blood samples were collected from all sows at farrowing and during days 7, 14, and 21 of lactation. Samples were collected via the intermediate auricular vein of the ear and stored in 2 ml K2-EDTA tubes (BD Vacutainer, Becton, Dickinson, and Company, Franklin Lakes, NJ). Blood samples were processed 2 to 4 hours after collection to determine the complete blood count through a hematology analysis system (Hemavet 950 FS, Drew Scientific, Waterbury, CT).

All data were entered into a Microsoft Excel® 2021 spreadsheet for processing. The litter and sow's performance, the milk composition, and the blood profile data were analyzed using a mixed linear model of repeated measures, whose algebraic equation is the following:

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

Where y_{ijk} is the response variable, μ is the general mean, α_i is the effect of the i th diet, β_j is the effect of the j th day, $(\alpha\beta)_{ij}$ is the effect of the interaction between the i th diet and the j th time, $a_{k(i)}$ is the random effect of the k th animal nested within the i th treatment, and e_{ijk} is the random error.

The solution of both the parametric BLUEs of fixed effects, as well as the prediction of the BLUPs of random effects was performed by solving the Henderson (1975) equations. The variance components were estimated using the REML method (Patterson and Thompson, 1971). The F statistics were estimated by correcting the degrees of freedom of the denominator according to the Kenward-Roger method (Kenward and Roger, 1997). All these statistical procedures were carried out in the R programming language (R Core Team, 2022), and the comparison of means was carried out according to the Tukey method.

RESULT AND DISCUSSION

A Trt*Day interaction was obtained in the FI during the lactation ($p < 0.05$). The supplementation of SCFP stimulated the FI of sows by 22% and 20.6% higher compared to sows fed CT ($p < 0.05$; Table 3). However, in phase 3 (d 15-21) no effects were obtained related to FI; but numerically, sows fed SCFP had a higher FI, by 0.14 kg/day. In agreement with our findings, Domingos et al. (2021) found an increment of 13% in FI of sows fed *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii* based live yeast compared to the control.

In addition, Tan et al. (2015) compared different levels of *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii* and found an overall FI higher, by 10%, than the control group. In contrast, Lázaro et al. (2005) and Ayala (2001) reported that supplementing live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) in diets for sows did not influence the voluntary FI during lactation. The differences observed between studies

can be related to the different yeast strains, the inclusion levels as well as the different mechanisms that exert a live yeast product versus a postbiotic yeast culture as used in our study. Also, other external factors such as the temperature in sows' facility, the metabolic stress during lactation, and changes in diet formulation, quality, and palatability (Shen et al., 2009), which might contribute to the discrepancy observed among discussed studies.

Tabla 3

Effects of a Saccharomyces cerevisiae fermentation product on feed intake during lactation .

Feed Intake, kg/day/sow	Treatments		SEM	p-Value
	CT	SCFP		
P1 (d 1-7)	3.14	4.04	0.28	0.032
P2 (d 8-14)	3.84	4.84	0.27	0.021
P3 (d 15-21)	4.92	5.06	0.31	0.751
Overall (d 1-21)	3.68	4.60	0.25	0.02

During the experimental period, the environmental temperature and relative humidity of the facility were 25.43 °C and 87.36% during the morning, and 32.36 °C and 65.60% during the afternoon, respectively. The thermoneutral zone for sows is 18-20°C and 50-65 % (Quiniou & Noblet, 1999), which indicates that sows were under heat stress. The negative impact of heat stress on sows performance has been widely studied (Black et al., 1993; Renaudeau et al., 2012; Matthew & Safranski, 2017). Heat stress can cause significant changes in the gut microbial composition, especially in the abundance of short chain fatty acids (SCFA) producing bacteria, allowing gut dysbiosis and inflammatory response (Ringseis & Eder, 2022). Beside this, the microbial imbalance allows the pathogenic bacteria to growth, affecting gut health and feed utilization (Ross et al., 2015).

The postbiotic metabolites such, small chain fatty acids (SCFAs), microbial cell fractions, functional proteins, extracellular polysaccharides (EPS), cell lysates, teichoic acid, peptidoglycan-derived neuropeptides and pili-type structures are involved in immune system regulation and gut health (Pelton et al., 2020). Based on the aforementioned, the ingestion of skeletal structure of dried yeast plus metabolites of yeast fermentation could improve the production of cytokines, reducing the colonization of pathogenic bacteria throughout the gastrointestinal tract and reducing the inflammatory response. Altogether, improve gut health status; therefore, ameliorating the negative effect of heat stress and allowing better conditions for voluntary FI and utilization.

Regarding the performance of the litters, no significant differences were obtained for the interaction Trt*Day on the live weight gain ($p > 0.05$) in the live weight of litters in any phase. However, the litters from sows fed TC and SCFP had an overall weight gain, from farrowing to weaning, of 39.5 kg and 40.9 kg, respectively, denoting that the litters from sows fed SCFP were numerically heavier by 1.4 kg than the litters from sows fed CT (Table 4).

Tabla 4*Effects of Saccharomyces cerevisiae fermentation product on the performance of litters.*

Variable (kg)	Treatments		SEM	p-Value
	CT	SCFP		
Litter weight, d0	15.3	15.0	0.93	0.77
Litter weight, d7	26.6	26.7	1.90	0.99
Litter weight, d14	39.9	40.3	2.48	0.91
Litter weight, d21	54.8	55.9	2.92	0.78
LWG P1 (d 1-7)	11.3	11.7	1.42	0.83
LWG P2 (d 8-14)	13.3	13.7	1.76	0.87
LWG P3 (d 15-21)	14.9	15.6	1.78	0.78

LWG P1 = (Weight d7 – Weight d0); LWG P2 = (Weight d14 – Weight d7); LWG P3 = (Weight d21 – Weight d14).

In the study carried out by Shen et al. (2011) evaluated the effects of a SCFP during the entire gestation and lactation with a higher final litter weight at weaning when feeding 12 grams/day on top feed. In another study, Rocha et al. (2022) evaluated the effect of *Saccharomyces cerevisiae*, from day 94 of gestation until day 24 of lactation, on productive performance, colostrum and milk composition, and litter performance in low and high temperature humidity index (THI), and found improvements in FI of sows, but without increments in litter birth weight, gain weight, and weaning weight of litters from sows fed *Saccharomyces cerevisiae* at an inclusion level of 0.08%. Furthermore, Chen et al. (2020) evaluated the inclusion of 0.30 % of a SCFP from day 85 of gestation until day 21 of lactation, reporting no effects on litter performance.

Because the supplementation of SCFP in our study started 15 days before farrowing, this may not have been an enough period of supplementation for having a direct effect on milk production. Most scientific evidence indicates that the supplementation of SCFP do not exert effect on farrowing weight, but with positive benefits in the weight gain of the litters during lactation. Even though in this study the sows fed SCFP has a higher FI by 0.81 kg than control sows, it did exert increments in the gain weight of the litters in the last week. Several factors such as sow's breed and environmental conditions, number of parity, and health status as well as the quality and composition of the SCFP might influence in the discrepancy among studies discussed above. Because of sows milk was the only source of nutrient to piglets during lactation, the supplementation of yeast culture might help to increase milk production based on a higher feed intake, allowing a higher nutrient available for milk synthesis. Further studies has to be done to evaluate the supplementation of a SCFP during the entire gestation and lactation of primiparous and multiparous sows, and determine the milk production and its correlation with litter performance.

Tabla 5*Effects of a Saccharomyces cerevisiae fermentation product on the milk nutritional content of gilts.*

Variable	Treatments			<i>p</i> -Value		
	CT	SC	SEM	Trt	Day	Trt*Day
Protein, %	6.0	5.3	0.35	0.17	0.007	0.89
Lactose, %	5.8	5.2	0.33	0.19	0.005	0.89
Fat, %	6.7 ^a	10.1 ^b	0.73	0.002	0.72	0.66
Not-fat solids, %	13.1	11.7	0.74	0.19	0.005	0.9
Density, g/ml	1.2	1.2	0.07	0.73	0.001	0.98

Regarding the nutritional profile of milk composition, no differences between treatments were observed in the percentage of protein, lactose, and non-fat solids as well as in the milk density. However, a significant difference ($p < 0.05$) was found for the percentage of fat, with 33.66 % higher in sows fed SCFP than those supplemented with CT (Table 5).

Several studies have indicated that the supplementation with a SCFP do not improve milk composition of sows, including protein, lactose, not-fat solids and fat content either fed sows during the entire gestation and lactation (Shen et al., 2011; Jang et al., 2013) or just during the end of gestation and the entire lactation (Rocha et al., 2022). These studies are consistent with our findings where the supplementation of SCFP did show effect on most of the milk nutritional components, except for the fat content. According to Bernabucci et al. (2013), the composition and yield of colostrum and milk of dairy animals are affected by several factors, such as environmental conditions, feeding program, animal breed and health status.

In general, about 50 percent of the fatty acids in milk are synthesized in the mammary gland and the other 50 percent are derived directly from blood (Linn, 1988). Milk fat originates from three sources such as dietary fat, body fat mobilization, and de novo fat synthesis in the mammary gland (Lv et al., 2015). In addition, glucose is the quantitatively most important substrate for de novo fatty acid synthesis in sows (Krogh et al., 2021) and it is also used for synthesis of the glycerol backbone to which Fatty Acid is esterified, whether de novo synthesized or derived from body fat mobilization. Furthermore, Zhe et al. (2023) evaluated the different levels of fat in diet of sows and found that the dietary intake of fat and the milk output in sow's milk are not the main driven of the piglet growth, being the protein and water retention the main nutrients for gain weight in piglets. In the current study, the improvements in the FI of sows means a higher amount of dietary fat and carbohydrate consumption, which in turn might allow an increment in the availability of main sources for de novo fat synthesis in the mammary gland. The significant differences obtained in this study with respect the effect of sampling days is common reported because of the physiological transition of a high nutrient composition at the beginning of the lactation because of colostrum production, and then changes in the nutritional density of nutrients along the lactation period, including the milk fat, which did not show statistic differences.

Tabla 6*Effects of a Saccharomyces cerevisiae fermentation product on the hematological profile of gilts.*

Variable	Treatments		SEM	p-Value		
	CT	SC		Trt	Day	Trt*Day
RBC. x10 ⁶	6.06	5.94	0.074	0.27	0.53	0.32
HGB. g/dL	11.89	11.75	0.187	0.60	0.16	0.19
HCT. %	35.92	34.99	0.553	0.25	0.17	0.67
WBC. x10 ³ /uL	21.94	15.28	1.207	0.001	0.02	0.02
lymphocytes. %	48.31	34.10	3.236	0.005	0.76	0.32
Monocytes. %	6.81	5.50	0.382	0.02	0.28	0.06
neutrophils. %	43.75	58.65	3.223	0.003	0.83	0.21
eosinophils. %	1.125	1.75	0.383	0.26	0.69	0.39

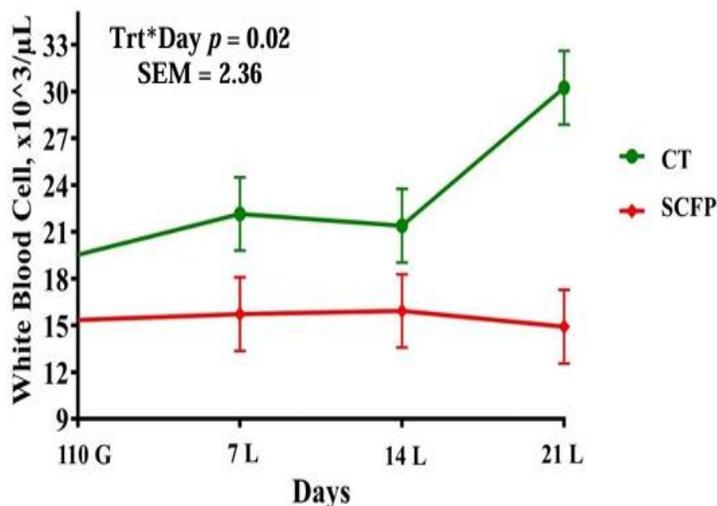
RBC: red blood cells; HGB: hemoglobin; HCT: hematocrit; WBC: White blood cells.

No statistical differences were obtained in the treatment per day interaction of the blood red series (RBC, HCT, WBC; $p > 0.05$). On the other hand, significant differences were found in the treatment per day interaction of white blood cell concentration ($p < 0.05$; Table 6, Figure 1). In addition, a lower percentage of lymphocytes and monocytes, and a higher percentage of neutrophils were found in sows fed SCFP ($p < 0.05$).

Burdick et al. (2021) investigated the influence of yeast products on metabolism and immunity of pigs, showing that the supplementation with a SCFP reduced the total WBC and neutrophil concentrations. Similar results were found in this study, where the supplementation of SCFP maintain the WBC concentration more stable throughout the study, as shown in figure 1. However, those sows fed diet CT had inconsistent WBC concentration, with the highest level at the end of lactation. It has been widely known that the WBC are stimulated when there are some opportunistic bacteria invading the organism and generating a subclinical infection (Rosales, 2018). It is possible that the SCFP evaluated in this study exerted some antimicrobial effects, thus controlling possible growth and infection of common pathogenic bacteria related to swine in our conditions. Even though the supplementation of a SCFP might control the negative effects of some opportunistic pathogens, without exerting any impact on performance of litters in this study.

Figure 1

Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on white blood cell count during the experimental period.



100 G: 100 of gestation or 15 days before farrowing. Initial day of the experiment// **7 L, 14 L, and 21 L:** sampling days during the lactation period.

The effect of an autolyzed yeast on the blood profile of weaned pigs was studied by Namted et al. (2022), finding a lower concentrations of monocytes and neutrophils in pigs fed 1% of autolyzed yeast than in those fed a control diet. In addition, Shen et al. (2011) evaluated a SCFP during the entire gestation and lactation and did not find differences in the blood cell profile at day 30 of gestation, but reported a reduced blood cell concentration and lower neutrophil concentration at day 110 of gestation and at day 24 of lactation.

The effects of yeast culture on health and immunity have been evidenced to stimulate positive benefits after a long period of its supplementation (Shen et al., 2009). The main contrasting response of our study and Shen et al. is the higher neutrophil level in sows fed SCFP than CT. Neutrophils are the main line of defense against pathogenic bacteria or viruses (Rosales, 2018). The short period of supplementation with SCFP might not be enough to exert a significant effect on good health status or adequate immune regulation, thus increasing the neutrophil percentage. Future studies are necessary for evaluating the supplementation of a yeast culture for a longer period and determining its effect on the immune system. Interestingly, most of the specific leukocyte cells had lower levels for SCFP than CT. Beside this, even though neutrophil level in SCFP sows showed to be stimulated, its level were within the normal range.

CONCLUSION

The supplementation of a *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in gilts from day 110 of gestation until 21 of lactation improved feed intake, modulate leukocyte profile, and improve milk fat content during lactation, without effect on performance of litters.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the workers of the Swine Research Farm of the University of Panama for all the collaboration in animal management during the data collection.

REFERENCES

- Ayala, V. (2001). Uso de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en la dieta de cerdas multíparas. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/af9daaab-67bf-4599-8074-9e8e00c34d2d/content>
- Black, J. L., Mullan, B. P., Lorsch, M. L. & Giles, L. R. (1993). Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science*, 35(1-2), 153–170. doi:10.1016/0301-6226(93)90188-n
- Burdick, N., Broadway, P. & Carroll, J. (2021). Influence of yeast products on modulating metabolism and immunity in cattle and swine. *Animals*, 11, 371. <https://doi.org/10.3390/ani11020371>
- Bernabucci, U., Basirico, L. & Morera, P. (2013). Impact of hot environment on colostrum and milk composition. *Cell Mol Biol*, 59, 67–83. <https://doi.org/10.1170/T948>
- Bertoldo, M. J., Holyoake, P. K., Evans, G. & Grupen, C. G. (2012). Seasonal variation in the ovarian function of sows. *Reproduction, Fertility and Development*, 24(6), 822–834. <https://doi.org/10.1071/RD11249>
- Chen, J., Zhang, Y., You, J., Song, H., Zhang, Y., Lv, Y., Qiao, H., Tian, M., Chen, F., Zhang, S. & Guan, W. (2020). The effects of dietary supplementation of *saccharomyces cerevisiae* fermentation product during late pregnancy and lactation on sow productivity, colostrum and milk composition, and antioxidant status of sows in a subtropical climate. *Frontiers in Veterinary Science*, 7(2), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00071>
- Dávila, J. L., Carvajal, M. R., López, M. J., González, H., Celaya, H., Sosa, J., Barrales, S. M., Moreno, S. F. & Barrera, M. A. (2020). Effect of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on growth performance, blood metabolites, carcass traits, quality, and sensorial traits of meat from pigs under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 267, 114573. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114573>
- Domingos, R. L., Silva, B. A. N., Bravo de Laguna, F., Araujo, W. A. G., Gonçalves, M. F., Rebordões, F. I. G., Evangelista, R. P., de Alkmim, T. C. C., Miranda, H. A. F., Cardoso, H. M. C., Cardoso, L. A., Habit, S. R. & da Motta, S. A. B. (2021). *Saccharomyces Cerevisiae* var. *Boulardii* CNCM I-1079 during late gestation and lactation improves voluntary feed intake, milk production and litter performance of mixed-parity sows in a

- tropical humid climate. *Animal Feed Science and Technology*, 272, 114785. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114785>.
- Eissen, J. J., Kanis, E. & Kemp, B. (2000). Sow factors affecting voluntary feed intake during lactation. *Livestock Production Science*, 64(2–3), 147–165. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00153-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00153-0)
- Henderson, C. (1975). Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics*, 31(2), 423-447. Available in: <https://people.umass.edu/stanek/pubhlth892d/Henderson-biometrics1975.pdf>
- Jang, Y. D., Kang, K. W., Piao, L. G., Jeong, T. S., Auclair, E., Jonvel, S. et al. (2013). Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. *Livest Sci*, 152, 167–73. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.022>
- Kenward, M. G. & Roger, J. H. (1997). Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. *Biometrics*, 53(3), 983-997.
- Kim, S. W., Weaver, A. C., Shen, Y. B., & Zhao, Y. (2013). Improving efficiency of sow productivity: Nutrition and health. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1), 2–9. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-26>
- Krogh, U., Quesnel, H., Le Floc’h, N., Simongiovanni, A. & Van Milgen, J. (2021). A static model to analyze carbon and nitrogen partitioning in the mammary gland of lactating sows. *Animal*, 15(1), 100049. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100049>
- Lázaro, C., Carcelén, F., Torres, M. & Ara, M. (2005). Efecto de Probióticos en el alimento de marranas sobre los parámetros productivos de lechones. *Revista de Investigación Veterinaria de Perú*, 16(2), 97-102.
- Linn, J.G. (1988). *Factors affecting the composition of milk from dairy cows*. In: Designing Foods: Animal Product Options in the Marketplace. The National Academies, Washington D.C.
- Lv, Y., Guan, W., Qiao, H., Wang, C., Chen, F., Zhang, Y. et al. (2015). Veterinary medicine and omics (veterinomics): metabolic transition of milk triacylglycerol synthesis in sows from late pregnancy to lactation. *OMICS*, 19(10), 602–16. <https://doi.org/10.1089/omi.2015.0102>
- Matthew, L. & Safranski, T. J. (2017). Heat stress in pregnant sows: Thermal responses and subsequent performance of sows and their offspring. *Mol Reprod Dev*, 84, 946–956. <https://doi.org/10.1002/mrd.22844>
- Mosnier, E., Etienne, M., Ramaekers, P. & Père, M. C. (2010). The metabolic status during the peri partum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating

- multiparous sow. *Livestock Science*, 127(2–3), 127–136.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.06.023>
- Namted, S., Pongpong, K., Loongyau, W., Bunchasak, C. & Rakangthong, C. (2022). Dietary autolyzed yeast modulates blood profiles, small intestinal morphology and caecal microbiota of weaning pigs. *Animal*, 16(11), 100660.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100660>
- National Research Council (NRC). (2012). Nutritional requirements of swine. 11th edition. The National Academies Press, Washington, D.C.
- Patterson, H.D. & Thompson, R. (1971). Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. *Biometrika*, 58(3). 545-554.
- Pelton, R. (2020). Postbiotic metabolites: How probiotics regulate health. *Integr Med*, 19(1), 25-30.
- Poppy, G. D., Rabiee, A. R., Lean, I. J., Sanchez, W. K., Dorton, K. L. & Morley, P. S. (2012). A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 6027–6041. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5577>
- Quiniou, N. & Noblet, J. (1999). Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 77, 2124–2134.
- R Core Team. (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available in: <https://www.R-project.org/>.
- Ramsing, E. M., Davidson, J. A., French, P. D., Yoon, I., Keller, M. & Peters-Fleckenstein, H. (2009). Effects of Yeast Culture on Peripartum Intake and Milk Production of Primiparous and Multiparous Holstein Cows. *Professional Animal Scientist*, 25(4), 487–495.
[https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30739-7](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30739-7)
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. L. & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707–728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- Renaudeau, D., Noblet, J. & Dourmad, J. Y. (2003). Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. *Journal of Animal Science*, 81(1), 217–231.
<https://doi.org/10.2527/2003.811217x>
- Renaudeau, David, Quiniou, N. & Noblet, J. (2001). Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on feeding behavior of multiparous lactating sows. *Animal Research*, 79(3), 1240–1249. <https://doi.org/10.1051/animres:2002020>

- Ribeiro, V. B., Pontara, B., Lanferdini, E., Palencia, J. Y. P., Lemes, M. A. G., Teixeira de Abreu, M. L., de Souza Cantarelli, V. & Ferreira, R. A. (2018). Heat negatively affects lactating swine: A meta-analysis. *Journal of Thermal Biology*, 74, 325–330. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.015>
- Ringseis, R. & Eder, K. (2022). Heat stress in pigs and broilers: role of gut dysbiosis in the impairment of the gut-liver axis and restoration of these effects by probiotics, prebiotics and synbiotics. *J Animal Sci Biotechnol*, 13, 126. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00783-3>
- Rocha, V.P., Araújo, L.R.S., de Mendonça, I.B. et al. (2022). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* CNCM I-1079 on performance, colostrum and milk composition, and litter performance of mixed-parity sows in a tropical humid climate. *Trop Anim Health Prod*, 54(41). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03051-8>
- Rosales, C. (2018). Neutrophil: A cell with many roles in inflammation or several cell types? *Frontiers in Physiology*, 9, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00113>
- Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating A. F. & Baumgard, L. H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55, 1381–390 <http://dx.doi.org/10.1071/AN15267>
- Shen, Y. B., Carroll, J. A., Yoon, I., Mateo, R. D. & Kim, S. W. (2011). Effects of supplementing *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in sow diets on performance of sows and nursing piglets. *Journal of Animal Science*, 89(8), 2462–2471. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3642>
- Shen, Y. B., Piao, X. S., Kim, S. W., Wang, L., Liu, P., Yoon, I. & Zhen, Y. G. (2009). Effects of yeast culture supplementation on growth performance, intestinal health, and immune response of nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 87(8), 2614–2624. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1512>
- Solís, V. & Rivera, M. (2022). Inclusión del probiótico hidrolizado *Saccharomyces cerevisiae* y su efecto sobre los parámetros productivos en cerdas gestantes y lechones en pre-destete. [tesis de maestría, Escuela superior politécnica agropecuaria de manabí manuel félix lópez]. Repositorio espan.
<https://repositorio.espan.edu.ec/bitstream/42000/1808/1/TTMZ08D.pdf>
- Tan, C. Q., Wei, H. K., Sun, H. Q., Long, G., Ao, J. T., Jiang, S. W. & Peng, J. (2015). Effects of supplementing sow diets during two gestations with konjac flour and *Saccharomyces boulardii* on constipation in periparturient period, lactation feed intake and piglet performance. *Animal Feed Science and Technology*, 210, 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2015.10.013>

- Valros, A., Rundgren, M., Špmka, M., Saloniemi, H., Rydhmer, L., Hultén, F., Uvnäs-Moberg, K., Tománek, M., Krejčí, P., & Algers, B. (2003). Metabolic state of the sow, nursing behavior and milk production. *Livestock Production Science*, 79(2–3), 155–167. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00154-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00154-9)
- Williams, A. M., Safranski, T. J., Spiers, D. E., Eichen, P. A., Coate, E. A., & Lucy, M. C. (2013). Effects of a controlled heat stress during late gestation, lactation, and after weaning on thermoregulation, metabolism, and reproduction of primiparous sows. *Journal of Animal Science*, 91(6), 2700–2714. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6055>
- Zhe, L., Krogh, U., Lauridsen, C., Nielsen, M. O., Fang, Z., & Theil, P. K. (2023). Impact of dietary fat levels and fatty acid composition on milk fat synthesis in sows at peak lactation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00815-y>

INFLUENCIA DEL ITH Y LA TEMPERATURA VAGINAL SOBRE EL ÍNDICE GESTACIONAL EN LA TRANSFERENCIA DE EMBRIONES FRESCOS O CONGELADOS PRODUCIDOS IN VITRO EN EL TRÓPICO

INFLUENCE OF THI AND VAGINAL TEMPERATURE OVER THE PREGNANCY INDEX IN FRESH AND FROZEN TRANSFERRED EMBRYOS PRODUCED IN VITRO IN THE TROPICS

*De Armas, Reinaldo. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá. reinaldo.dearmas@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-2488-01>

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

*Autor de Correspondencia: reinaldo.dearmas@up.ac.pa
DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4518>

Recibido: 08/05/2023

Aceptado: 18/10/2023

RESUMEN. La influencia del ITH, temperatura vestibular vaginal y el estrés calórico diario fueron evaluados sobre los resultados de la transferencia de embriones producidos in vitro frescos o congelados en 160 hembras cruzadas tipo leche. Las receptoras fueron sincronizadas con el esquema convencional para IATF y la transferencia se realizó a tiempo fijo [46 receptoras recibieron embriones frescos producidos in vitro (EPIVF) y 114 receptoras recibieron embriones producidos in vitro congelados (EPIVC)]. El ambiente al momento de la transferencia de los embriones y en lo sucesivo fue tipificado por psicrometría (temperatura, humedad relativa e índice temperatura humedad para bovinos). El estrés calórico al momento de la transferencia de los embriones fue severo (ITH de $82.92 \pm 2.84^\circ\text{C}\%$). La transferencia de embriones EPIVC resultó en 25.2% de preñeces y la transferencia con embriones EPIVF, la preñez fue 39.1%. Las temperaturas tegumentarias (TT) y vaginal vestibular (TVV) no fueron diferentes según los tipos de embrión y las categorías de receptoras ($p > .05$). La TV influyó sobre el índice de preñez con embriones EPIVF y EPIVC ($P < .01$). La falla gestacional aumentó a partir de la TV de 39.5°C con los embriones frescos y congelados ($p < .01$). Los embriones EPIVF presentaron un menor índice de gestación negativa a partir de la TV de 39.5°C ; superando a los EPIVC en -15.6%. Según la relación la TVV con las preñeces; debe utilizarse EPIVF si la TVV \geq a 39.5°C y utilizar EPIVC si la TVV es \leq a 39.0°C para mejorar el índice de preñez en el trópico.

PALABRAS CLAVE: Embriones frescos, congelados, estrés calórico.

ABSTRACT. The influence of THI, vagina temperature and daily heat stress were evaluated over the results of embryo transfers and gestation in 160 cows from dairy crosses aged from 3 to 6 years and classified as heifers, cows without calves and cows with calves. All animals were synchronized with the conventional scheme for FTAI and transfers were made at fixed time. 46 recipients received fresh embryos produced in vitro (FreEIVP) and 114 frozen embryos produced in vitro (FroEIVP). The environment at time of embryo transfers was typified by daily direct psychrometric procedures (ambient temperature, relative humidity and THIbovine) and also by indirect psychrometric evaluation. Heat Stress at the moment of embryo transfers was severe as THI was $82.92 \pm 2.84^\circ\text{C}\%$, which indicated all cow recipients were under daily heat stress. A 25.2% pregnancy rate was achieved with FroEIVP and 39.1% with FreEIVP. Tegumentary (TT) and vaginal temperatures (VVT) were not different in the recipients according to type of embryos, neither between cow categories ($p > .05$). The gestational failures increased from 39.5°C ($P < .01$) in fresh and frozen embryos. The VVT influence in the pregnancy index in both types of embryos ($p < .01$). The negative pregnancy index increased when VVT was 39.5°C in fresh and frozen embryos ($p < .01$). The FreEIVP showed a smaller negative pregnancy index when VVT was 39.5°C ; which -15.6% smaller than FroEIVP. FreEIVP should be used when VVT \geq to 39.5°C and FroEIVP when VVT \leq a 39.0°C in order to improve pregnancy index after embryos transfers in the tropic.

KEYWORDS: Fresh embryos, frozen, heat stress.



INTRODUCCIÓN

La producción *in vitro* de embriones a partir de ovocitos colectados por aspiración folicular *in vivo* de hembras bovinas en Panamá ha alcanzado una gran popularidad en los últimos años y ha logrado un gran impacto en la producción de sementales. Panamá es el tercer país que más ha producido y transferido embriones por fertilización *in vitro* en Centroamérica; a pesar de que comenzó a implementarse hace apenas 15 años (De Armas et al., 2019). No obstante, la disponibilidad de receptoras resulta una de las principales limitantes en la extensión de esta biotecnología reproductiva. En tal sentido la congelación de embriones puede mitigar esta dificultad, pero aún los resultados de gestación que se han logrado con embriones congelados producidos *in vitro* se consideran bajos (De Armas, 2020).

La viabilidad post transferencia de los embriones producidos *in vitro* y/o micromanipulados es marcadamente inferior a la de los embriones producidos *in vivo*; cuyas diferencias se aumentan cuando los embriones son criopreservados (Cutini et al., 2000; Guerra et al., 2012).

En la actualidad, el calentamiento global ha tenido un impacto en todo el mundo. La elevación de la temperatura ambiental, especialmente en verano, es un tema crítico en la ganadería e industria pecuaria. La productividad del ganado también se ve afectada por el estrés por calor, especialmente en la época seca. Entre los efectos se destacan: repercusiones en la fisiología sistémica, la termorregulación y reducción en la producción de leche (Arauz et al., 2010), disminución en la ingesta de materia seca, baja ganancia diaria y deterioro de la fertilidad debido a las alteraciones endocrinas y reproductivas (Wolfenson et al., 2000; Amundson et al., 2006; Liu et al., 2019).

Uno de los efectos más importantes del estrés por calor en la ganadería es la disminución de la reproducción del ganado. Se ha publicado desde la década de 1990 que la tasa de preñez por inseminación artificial (IA) en el ganado lechero disminuye drásticamente en los veranos (García-Ispuerto et al., 2006; Huang et al., 2009; De Rensis et al., 2017). Se considera que una de las principales razones de este efecto adverso es la elevación de la temperatura corporal, que altera las funciones ováricas y uterinas; las cuales están acompañadas de una elevada mortalidad embrionaria (Biggers et al., 1987; Dobson et al., 2001; Drost et al., 1999; De Armas y Pérez, 2002).

La elevación de la temperatura corporal materna afecta el establecimiento y desarrollo de la gestación debido a la disminución del flujo sanguíneo al tracto genital (Limesand et al., 2018), alteración del perfil secretor y circulante de las hormonas GnRH, FSH, LH, estrógenos y progesterona que controlan los procesos reproductivos, la calidad de los ovocitos, el éxito de la fertilización y el desarrollo del embrión (Sakatani, 2017; Kasimanickam y Kasimanickam, 2021). Otros efectos adversos más específicos relacionados con el estrés calórico son el deterioro de la maduración de los ovocitos y la alteración del desarrollo embrionario temprano (Wolfenson et al., 2000; Hansen, 2007).

La técnica de producción de embriones *in vitro* permite cultivar artificialmente ovocitos y embriones y evaluar en detalle el mecanismo de la muerte embrionaria temprana inducida por el estrés calórico. Por lo tanto, se han realizado muchos estudios *in vitro*, a lo largo del período desde la maduración del ovocito hasta el desarrollo previo a la implantación, imitando la temperatura

corporal materna en verano (Gendelman y Roth, 2012). Edwards et al., (2003) publicaron que se presentan pérdidas embrionarias en las especies que estudiaron con una elevación del umbral biotérmico de 2.0 a 2.5 °C por encima del límite superior de la temperatura corporal normal.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, el conocer el efecto de las temperaturas ambiente, cutánea e interna pudieran servir para tomar decisiones al momento de la transferencia de embriones producidos in vitro y más aún si estos han sido congelados. En Panamá no se han desarrollado investigaciones sobre el efecto que tiene la temperatura sobre la viabilidad post transferencia de embriones producidos in vitro. Sin embargo, De Armas y Pérez (2002), encontraron que, en la transferencia de embriones producidos in vivo por superovulación, había un efecto negativo de las altas temperaturas y la humedad, sobre los resultados de la gestación en las transferencias con embriones frescos y congelados.

Cupp, et al., (2012); Inskoop y Dailey (2005) y (Krishnan et al., 2017) han reportado la influencia negativa del estrés calórico sobre los resultados de la IA y TE en condiciones climáticas diferentes al clima tropical; incluyendo entornos ambientales subtropicales, templados y continentales. El clima es un factor que no se puede cambiar (Ambrose et al., 1999; Lozano et al., 2010; Gokhale y Sharma, 2021), pero existen alternativas estratégicas que permitirían atenuar el estrés calórico, las cuales pueden ser investigadas y evaluadas para mitigar el estrés calórico y sus efectos sobre la reproducción bovina. En tal sentido, esta investigación relacionará el entorno microclimático tropical y la biotermia de las receptoras a través de la temperatura tegumentaria y vaginal vestibular con los resultados de la transferencia de embriones producidos in vitro congelados y frescos sobre el éxito y fracaso de la gestación como producto de la aplicación de esta biotecnología reproductiva.

El objetivo del estudio fue relacionar la influencia de la temperatura vaginal vestibular y epidérmica sobre los resultados de la gestación a partir de la transferencia de embriones producidos in vitro congelados o frescos en el marco de la tipificación microambiental según la temperatura ambiental y el ITH al momento de las transferencias de los embriones aplicando la estratificación térmica corporal según el estrés calórico en la zona baja tropical.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en una finca ganadera del área de Cantagallo, Distrito de Alanje, Provincia de Chiriquí, República de Panamá, con la ubicación georreferenciada de latitud 8.36667 y longitud -82.6167; y coordenadas 8°24'15''N y 82°44'42''O. El clima de esta región se define como tropical de sabana según la clasificación de Köppen (Aguilar et al., 2016).

Las receptoras de embriones fueron hembras del cruce lechero (Holstein x Cebú y Pardo Suizo x Cebú) con edades de 3 a 6 años y categorizadas en novillas, vacas sin terneros y vacas con terneros al pie. Todas fueron sincronizadas con dispositivos intravaginales liberadores de progesterona (DIV de 1g P₄) + Benzoato de estradiol IM (2mg BE₂) en el día cero y retiro de los dispositivos en el día 8 con el acompañamiento de las aplicaciones IM de 0.5 mg de Cipionato de estradiol (CE₂) + 500µg de Cloprostenol (PGF_{2α} sintética) y 333 UI de Gonadotropina coriónica equina (eCG). La transferencia de embriones se realizó a tiempo fijo nueve días después de retirar el dispositivo intravaginal por medio no quirúrgico. El resultado de la transferencia de embriones fue

diagnosticado por ecografía con un escáner Mi-A015D y un transductor lineal transrectal con una frecuencia de 2.5 a 12 MHz. De las 160 hembras receptoras, 46 recibieron embriones frescos producidos in vitro (PIVF) y 114 recibieron embriones producidos in vitro congelados (PIVC). El proceso de la congelación fue el mismo para todos los embriones y la descongelación se realizó 10 segundos en aire y 30 segundos en agua a 35°C.

En información de las transferencias se registró la fecha, hora y mediciones de la temperatura ambiental, tegumentaria (en el ijar izquierdo) e intravaginal (vestíbulo vaginal) con un termómetro infrarrojo (Berrcom, Modelo: JXB-178). El período de transferencias se desarrolló durante 12 meses. El diagnóstico de la gestación se practicó a los 38 días posteriores a la transferencia de embriones (45 días post fertilización) por ecografía transrectal.

El entorno microambiental calórico contempló la valoración psicrométrica de la fase diurna antes, durante y después de la transferencia de los embriones; la cual incluyó la psicrometría directa en el área experimental (Curtis, 1983, Dikmen y Hansen, 2009) y la psicrometría indirecta diurna por asistencia satelital para Alanje, Distrito de Alanje, República de Panamá, Centro América; en los siguientes 45 días después de la transferencia de los embriones (World Weather online, 2023). La valoración del complejo calórico ambiental destacó la condición térmica e hídrica antes de la transferencia de los embriones dado que la termorregulación y la sobrecarga calórica de los homeotermos se encuentran modulada por la mayor presión calórica diurna y a su vez, ésta representa la zona de mayor estrés sistémico urogenital a lo largo de la subfase circadiana diurna para definir el biorritmo biotérmico prevalente en los bovinos (Araúz et al., 2010). En la subfase diurna ocurre el mayor grado de estrés calórico; donde se comprometen los procesos inherentes para el implante de los embriones (Putney et al., 1989; Sakatani, 2017), reconocimiento de la preñez (López et al., 2008; Maltes, 2011), mantenimiento del cuerpo lúteo funcional (Rosenberg et al., 1977; Thatcher et al., 1995), producción de prostaglandinas PGs (Iwazawa y Acosta, 2013) mantenimiento y nutrición del embrión (Taverné et al., 2002), supervivencia embrionaria (Edwards et al., 2003; Tovia et al., 2020) y desarrollo de la gestación exitosa (Wolfenson et al., 2000; West, 2003; Lozano et al., 2010).

Indicadores psicrométricos y biotérmicos

La tipificación térmica ambiental se realizó por psicrometría directa (Curtis, 1983; Dickmen y Hansen, 2009) e indirecta por asistencia satelital por geoposicionamiento para el corregimiento de Canta Gallo, Distrito de Alanje. La temperatura ambiental de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, entalpia y presión de vapor de agua se utilizaron como descriptores del microambiente para la subfase diurna circadiana por su relación con la definición del estrés calórico. El ITH para bovinos se determinó según la regresión múltiple $ITH_{\text{bovinos}} = (0.8 \times T_{db}) + [(RH/100) \times (T_{db} - 14.4)] + 46.4$ según Dickmen y Hansen (2009) y se generó el $ITH_{\text{Dajustado}}$ por radiación solar y velocidad del viento (Mader et al., 2006).

Análisis estadístico

El entorno ambiental de la finca según temperatura ambiental de bulbo seco, la humedad relativa y el ITH_{bovinos} e ITH que tipificaron el entorno calórico de los animales momentos antes de la transferencia de los embriones fueron estructurados según los tipos de embriones (congelados y

frescos), la categoría de las receptoras (novillas, vacas sin terneros y vacas con terneros) y según el resultado de la gestación (positiva y negativa) fueron sometidos a un análisis de variación auxiliar para identificar las diferencias estadísticas en el acondicionamiento térmico y calórico ambiental y para generar la media térmica ambiental pre transferencia embrionaria en cada una de las 12 clases por tipo de embrión, categoría de la receptora y resultado de la gestación.

Los indicadores térmicos del animal (temperatura tegumentaria y vaginal vestibular) fueron registrados por receptora, fecha de la transferencia, tipo de embrión (fresco o congelado), categoría de la receptora y resultados de la transferencia. La matriz de datos fue comprimida y levantada en una hoja de Excel que fue configurada en la matriz por secuencia lógica integral para los análisis estadísticos en el programa SAS (2004). Los resultados de las transferencias de embriones por ecografía positivos o negativos fueron analizados según la prueba de Fisher Modificada mediante el arreglo factorial no paramétrico a través de la tabla de contingencia A2 x B2 siendo A los tipos de embriones (A1 embriones PIVF y A2 embriones PIVC) y B los resultados del diagnóstico de la gestación (B1: positivo y B2: negativo) y la significancia fue entre 1% ($P < .01$) y 5% ($P < .05$).

El índice de éxito o fracaso de la gestación fue proyectada a través de las clases por temperatura vaginal vestibular estandarizada con intervalos térmicos cada 0.5°C a partir de la zona térmica típica generada según el procedimiento estadístico estandarizado (Gill 1978) a través de la rutina univariada de SAS (2004) descrita por Herrera y Barreras (2001). Este procedimiento permitió generar la tendencia polinómica para describir la trayectoria en el eje biotérmico por regresión polinómica (Herrera y Barreras, 2001). Se aplicó el análisis de correlación entre los indicadores psicrométricos y biotérmicos de las receptoras, en paralelo con los resultados de las transferencias según el análisis no paramétrico de Fisher modificado. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el Programa SAS (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entorno térmico ambiental, ITH y estrés calórico potencial para las receptoras

El entorno térmico ambiental según el ITH fue homogéneo para las tres categorías de receptoras por estado reproductivo (novillas, vacas sin ternero y vacas con ternero) y tipos de embriones (congelados y frescos). El entorno térmico ambiental fue tipificado con énfasis en el índice de temperatura ambiental y humedad relativa para bovinos ($\text{ITH}_{\text{bovinos}}$); ya que la sensibilidad calórica en los rumiantes es más efectiva (Dikmen y Hansen, 2009).

El ITH del entorno animal antes de la transferencia de los embriones sostuvo su magnitud e intensidad del estrés calórico potencial para todas receptoras de los embriones como marco referencial. El estrés calórico potencial para los animales transferidos fue garantizado de acuerdo con la temperatura ambiental y el índice ITH detectado antes de la transferencia de los embriones (Tabla 1). El grado de tensión calórica ambiental fue muy severo y estuvo girando alrededor de un ITH de 82.92 ± 2.84 ; lo cual contrasta con el valor máximo termoneutral de 72°C (Mader et al., 2006; Dikmen y Hansen, 2009), lo cual indicó que todas las receptoras de embriones estuvieron bajo la misma intensidad del estrés calórico tropical a través del periodo del estudio.

El entorno microambiental previo a la transferencia de los embriones marcó una temperatura ambiental de 30.48 ± 0.75 °C, lo que significó que la carga térmica ambiental sobre las receptoras fue consistente y tensiva. Cuando se combinó la temperatura ambiental con la humedad relativa se generó el ITH promedio de 83.5 ± 1.4 °C% con una variación de 1.68%. En consecuencia, el grado de estrés calórico fue el mismo para todas las categorías de animales (Tabla 1). En términos biológicos, reproductivos y microecosistémicos, ninguna categoría de las receptoras tuvo acceso a un entorno ambiental termoneutral según los registros individuales y el ITH para los bovinos (Mader et al., 2006; Dikmen y Hansen 2009), ya que el rango de estrés calórico potencial estuvo entre 81 y 87 (Tabla 1).

Tabla 1

Medias de la Temperatura ambiental y del ITH_{bovinos} del entorno para las receptoras antes de la transferencia de los embriones en el medio microclimático de bajura tropical en Canta Gallo, Distrito de Alanje, Provincia de Chiriquí.

TIPO DE EMBRION	CATEGORIA REPRODUCTIVA	RESULTADO DE LA GESTACION	Temperatura Ambiente (°C)	ITH _{BOVINOS} °C%
Embriones	novillas	negativas	29.9 ± 1.7	82.4 ± 2.8
Congelados	novillas	positivas	30.4 ± 1.9	83.5 ± 3.3
Transferidos (ECT)	vacas sin terneros	negativas	30.1 ± 1.4	81.4 ± 3.6
	vacas sin terneros	positivas	30.6 ± 1.6	83.7 ± 2.5
	vaca con ternero	negativas	30.8 ± 1.6	83.3 ± 1.9
	vaca con ternero	positivas	31.6 ± 1.2	85.1 ± 1.2
Embriones	novillas	negativas	30.6 ± 0.8	84.1 ± 0.3
Transferidos	novillas	positivas	30.8 ± 0.7	84.3 ± 1.3
Frescos (ETF)	vacas sin terneros	negativas	30.6 ± 1.0	84.2 ± 1.7
	vacas sin terneros	positivas	31.7 ± 0.2	86.1 ± 1.9
	vaca con ternero	negativas	29.1 ± 1.9	81.6 ± 3.0
	vaca con ternero	positivas	29.6 ± 2.7	82.3 ± 4.4

Condición térmica de las hembras receptoras de embriones

La temperatura epidérmica o exotegumentaria está influenciada por los elementos atmosféricos como la temperatura ambiental por encima de 25 °C y por humedad relativa al superar el 40% (West, 2003); mientras que la temperatura vaginal es más sostenida y correlacionada con la temperatura del térmico en los homeotermos (Fraser et al., 1993). Los valores críticos para el ITH en bovinos presentan un mínimo de 64, medio 72 y máximo 76 °C% según Igono et al., (1992). En nuestro estudio, el ITH fue 82.92 ± 2.84 ; evidenciando la presencia potencial del estrés calórico efectivo para los bovinos, ya que el límite inferior alcanzó un ITH de 80.1 °C% que representa un reto termoregulatorio en el ganado bovino.

Para reconocer la influencia del entorno ambiental sobre el ganado bovino deben medirse los valores térmicos y respiratorios en termoneutralidad y bajo aquellas condiciones que promuevan las alteraciones termoregulatorias. Fraser et al., (1993) indicaron que el ganado bovino debe tener una temperatura rectal entre 37.5 y 38.6 °C en condiciones de termoneutralidad, aunque en

propedéutica veterinaria se utiliza el rango de 38.5 a 39.0 °C (Elizondo, 1998); mientras que Robles et al., (2014) señala que 37.7 a 39.0 °C es lo normal.

El estado calórico corporal de las receptoras según las temperaturas tegumentaria y la temperatura vaginal vestibular no mostraron diferencias estadísticas ($p > .05$) en ninguna de las doce categorías estructuradas para detectar la tipificación biotérmica sectorial según la técnica de Gill (1978). Se ratifica que el entorno ambiental y el grado de estrés calórico no fueron diferentes entre los 12 grupos de las receptoras y por ende su carga calórica corporal en base a la temperatura vaginal vestibular evidenció que todos los animales estuvieron sometidos a los mismos factores promotores del estrés calórico, pero también tuvieron las mismas oportunidades termolíticas para alcanzar el balance calórico positivo hasta el desarrollo de la hipertermia diurna sostenida al momento de la transferencia de los embriones.

Se ratificó que el entorno microclimático, térmico e higrométrico fue igual para todas las receptoras antes de la transferencia y por ende las temperaturas tegumentaria y vaginal fueron homogéneas entre las categorías por tipo de embrión transferido, categorías reproductivas y resultados de la transferencia embrionaria al variar entre 1.59% en la temperatura tegumentaria en el hígado izquierdo y 1.85% en la temperatura vaginal vestibular (Tabla 2).

Tabla 2

Análisis de varianza auxiliar para la temperatura epidérmica y temperatura vaginal vestibular en las hembras bovinas receptoras antes de la transferencia de embriones.

Fuentes de variación	GL	Cuadrado medio y significancia Temperatura Tegumentaria	Cuadrado medio y significancia Temperatura Vaginal
Tipo de Embrión (A)	1	0.00173809 NS	1.83785525 NS
Categoría Animal (B)	2	0.85640979 NS	0.42841318 NS
A*B	2	0.94106867 NS	0.58567374 NS
Resultado de la Preñez (C)	1	0.02037915 NS	0.33546657 NS
A*C	1	0.02896805 NS	0.98169215 NS
B*C	2	0.83861433 NS	0.14345964 NS
A*B*C	2	0.85364503 NS	0.52667255 NS
Residuo	148	0.34214325 NS	0.52618466 NS
R ²		0.1539	0.1218
CV %		1.589	1.849
Media Estándar		36.80	39.21
Error Estándar de la Media		0.58	0.73

A (transferencia de embriones congelados (ECT) y embriones frescos (EFT))

B (categorías de las receptoras: novillas, vacas secas y vacas con ternero)

C (resultado de la transferencia del embrión: negativo o positivo)

NS No existe diferencias estadísticas significativas ($P > .05$)

La temperatura tegumentaria estuvo 2.5 a 3 °C por arriba de la TT normal ya que osciló entre 36.4 y 37.1 °C; mientras que la TVV presentó en promedio entre +0.2 a + 1.0 °C sobre los valores fisiológicos descritos por Fraser et al., (1993); evidenciando la sobrecarga calórica e hipertermia diurna sostenida (Tabla 3). Esto confirma que todas las receptoras pasaron por el estrés calórico entre ligero a severo; ubicándose en la zona de riesgos para el logro de la gestación y el índice de preñez. Todos los procesos endocrinos y citológicos que acompañan el desarrollo embrionario,

reconocimiento embrionario, desarrollo y mantenimiento del cuerpo lúteo y la implantación son eventos críticos para alcanzar la meta reproductiva integral y el éxito de la gestación (Hansen, 2007; Diskin y Morris, 2008; Iwazawa y Acosta, 2013); en especial, cuando utilizamos técnicas biotecnológicas como la transferencia de embriones (Putney et al., 1989; De Armas et al., 2019). Las condiciones microambientales y microecosistémicas para la producción bovina tropical incluyen la presencia del estrés calórico diurno efectivo en diversas altitudes (Araúz et al., 2010); en cuyo caso, los índices de producción y la coloración del pelaje contribuyen para generar la sobrecarga calórica corporal diurna y la definición de la hipertermia diurna sostenida (Araúz, 2017).

Tabla 3

Medias de la Temperatura Tegumentaria y temperatura vaginal vestibular de las receptoras clasificadas según el tipo de embrión transferido, la categoría reproductiva y el resultado de la gestación.

TIPO DE EMBRION	CATEGORIA REPRODUCTIVA	RESULTADO DE LA GESTACION	Temperatura Tegumentaria (°C)	Temperatura Vaginal (°C)
Embriones	novillas	negativas	36.6 ± 0.8	39.3 ± 0.8
Congelados	novillas	positivas	36.7 ± 0.4	39.3 ± 0.4
	vacas secas	negativas	36.8 ± 0.8	39.2 ± 0.7
	vacas secas	positivas	36.8 ± 0.8	39.1 ± 0.9
	vaca con ternero	negativas	37.1 ± 0.5	39.4 ± 0.8
	vaca con ternero	positivas	37.1 ± 0.7	39.8 ± 0.4
Embriones	novillas	negativas	36.9 ± 0.3	38.8 ± 0.8
Frescos	novillas	positivas	36.4 ± 1.2	38.8 ± 0.6
	vacas secas	negativas	36.9 ± 0.9	39.6 ± 0.4
	vacas secas	positivas	36.4 ± 0.1	38.9 ± 0.1
	vaca con ternero	negativas	36.7 ± 1.0	39.2 ± 0.6
	vaca con ternero	positivas	37.8 ± 0.3	38.7 ± 0.6

Para interpretar nuestros resultados debemos reconocer que uno de los eventos más importantes en el logro de una gestación, es el reconocimiento materno de la preñez entre los 15 y 17 días que se da gracias a la intervención del interferón tau (INTF-t) como indican Thatcher et al., (1995). Esta proteína mantiene la morfología y funcionamiento del CL; determinando la liberación de la progesterona (P4), lo suficiente para que se pueda mantener la preñez (Thatcher et al., 1995 y Lenis et al., 2010). Para evitar la pérdida embrionaria, se debe establecer una conexión entre el embrión y el ambiente materno; ya que el embrión generará el INTF-t que bloqueará la prostaglandina F2α (PGF2α), evitando así la regresión del CL (Thatcher et al., 1995, Hansen et al., 1999). Una inadecuada comunicación entre el endometrio y el INTF-t, causaría importantes pérdidas embrionarias ya que los picos de PGF2α inducen la luteólisis (Olivera et al., 2007). La liberación de receptores de oxitocina y estrógenos hacen que el INTF-t sea secretado en mayor proporción justo antes del contacto embrión-madre cuando empieza la preimplantación (Tithof et al., 2007; López et al., 2008).

Según Tovió et al (2020), las pérdidas embrionarias (25 al 40 %) son difíciles de diagnosticar ya que en la mayoría de los casos el retorno al celo es entre 20 a 22 días, manifestando un comportamiento estral regular, lo que se supone que las pérdidas se originaron entre los días 7 y

17; correspondiente entre el trasplante embrionario y el reconocimiento materno de la preñez. El establecimiento de la preñez presenta un “periodo crítico” definido entre los días 15 y 17; ya que la biología reproductiva durante este periodo es multifactorial y compleja. Una de las posibilidades, es que el endometrio podría recibir una señal antiluteolítica deficiente para ejercer el bloqueo del mecanismo de síntesis y liberación de PGF 2α endometrial.

Las alteraciones en el cuerpo lúteo son las causas más discutidas sobre pérdidas o mortalidad embrionaria en bovinos, encontrándose un acortamiento de la vida media del CL o una producción subnormal de progesterona (P4); comprometiendo el reconocimiento de la preñez (Thatcher et al., 2001; Maltes, 2011). Sin embargo, esta no es la única causa determinante de la mortalidad embrionaria, ya que hay otros factores involucrados; como el estrés calórico en particular (Wolfenson et al., 2000; Sakatani, 2017).

Resultados de la Gestación según la Transferencia de embriones frescos o congelados

Del total de embriones transferidos (160), se lograron 47 preñeces que correspondieron a un índice de preñez de 29.4%. Un total de 114 trasferencias de embriones producidos in vitro eran congelados (PIVC) y 46 de embriones fueron frescos (PIVF); alcanzándose un 25.2 y 39.1% en gestación respectivamente. Los resultados de la gestación logrados en las transferencias de embriones PIVF fueron ligeramente inferiores a los publicados previamente por nuestro grupo (De Armas et al., 2019), 39.1 vs 45.4% e inferiores a los alcanzados por otros investigadores (Taverné et al., 2002, Demetrio et al., 2020, Ferré et al., 2020), quienes obtuvieron resultados alrededor del 50% o superiores. Motivados por esta disminución en nuestros índices de gestación, se realizó la presente investigación, dada la gran importancia que posee el estrés calórico sobre la reproducción y más aún en las áreas tropicales como se ha señalado anteriormente en nuestro trabajo.

Influencia de la temperatura Vaginal Vestibular sobre el resultado de la gestación al transferir embriones congelados y frescos

La carga calórica sectorial del tracto genital en las receptoras según la Temperatura Vaginal vestibular (TVV) influyó de manera curvo lineal sobre el resultado negativo de gestación, verificada a los 38 días después de la transferencia (45 días de la fertilización); tanto en los embriones congelados como en los frescos. El rango biotérmico vaginal vestibular crítico para el resultado gestacional negativo fue entre 39.0 y 39.5 °C; indicando que entre 37.5 y 39.5 °C, la tendencia de las fallas gestacionales aumentaron exponencialmente al utilizar ambos tipos de embriones. Sin embargo, después del límite superior de la TVV crítica de 39.5 °C; los EPIVF presentaron un menor índice de gestación negativa; superando los embriones PIVF a los EPIVC en -15.55% para un diferencial en la TVV entre 39.5 y 41.0 °C. El aumento de 1.5 °C en la TVV incrementó la falla gestacional en la transferencia de EPIVC a razón de 10.37% por cada 1 °C estandarizado de aumento en la TVV a partir de 39.5 °C (Tabla 4; Figura 1).

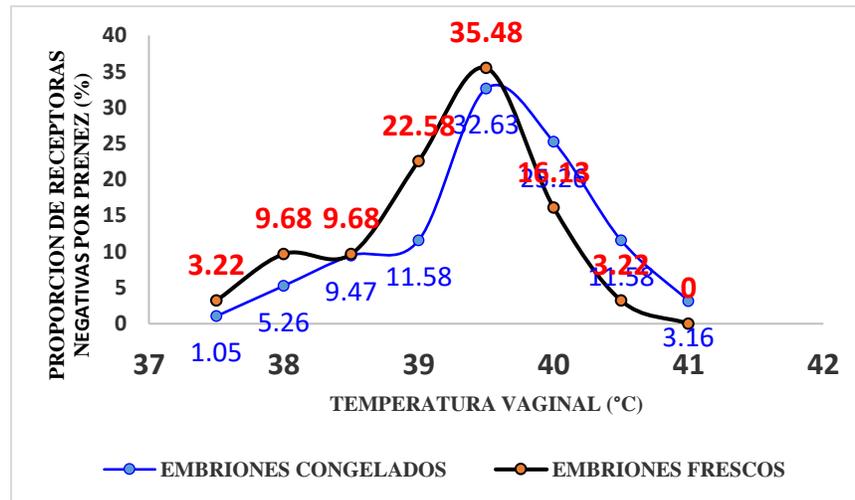
Tabla 4

*Distribución de las receptoras cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* con diagnóstico gestacional negativo a los 35 días después de la transferencia de embriones congelados o frescos bajo estrés calórico tropical.*

TV (°C)	Proporción de receptoras con diagnóstico de preñez negativo (%)		Diferencial entre embriones partiendo de los frescos
	Congelados	Frescos	Diferencial (%)
37.5	1.05	3.22	+ 2.17
38.0	5.26	9.68	+4.42
38.5	9.47	9.68	+0.21
39.0	11.58	22.58	+11.00
39.5	32.63	35.48	+2.85
40.0	25.26	16.13	-9.13
40.5	11.58	3.22	-8.36
41.0	3.16	0	-3.16

Figura 1

Tendencia de la ocurrencia en la falla gestacional al utilizar embriones congelados y frescos según la temperatura vaginal vestibular en receptoras cruzadas Holstein x Cebú y Pardo Suizo x Cebú bajo estrés calórico en el trópico húmedo de bajura.



Estos resultados sugieren que si las hembras receptoras presentan una TVV superior a 39.5 °C, deberán ser transferidas con embriones frescos ya que ocurre una menor falla en los procesos que determinan el establecimiento de la gestación detectable a los 45 d del desarrollo embrionario bajo estrés calórico diurno. Es de considerar, que estos resultados se generan cuando ya el bovino ha recibido un reto termoregulatorio de +0.9 a +1.0 °C partiendo de la temperatura máxima normotérmica de 38.6 °C (Fraser et al., 1993); donde el estado de hipertermia fue sostenido con el acompañamiento de un ITH diurno entre moderado a severo.

En estudios realizados por Rosenberg et al., (1977), se evidencia que, en condiciones de estrés calórico, la función del cuerpo lúteo sufre alteraciones y se reduce la producción de P₄, lo que conllevaría a la muerte embrionaria. La mortalidad embrionaria se ha visto aumentada en zonas tropicales después de la exposición de la madre a temperaturas ambientales elevadas, lo que ocasiona un incremento de la temperatura uterina, un aumento de la producción de prostaglandinas en el útero y la interacción de la PGF₂α con la oxitocina en el entorno endometrial uterino. Los efectos causados por el estrés térmico sobre el embrión joven no son aparentes sino hasta las fases finales de su desarrollo, evidenciándose esto en embriones sometidos a temperaturas altas *in vitro*, los cuales se afectan, pero continúan su desarrollo para posteriormente morir durante la etapa de la implantación.

Se ha indicado que el estrés calórico causado entre los días 8 y 17 de la preñez alteran el ambiente uterino y reduce en un 72% la secreción de INTF-t, lo cual repercute negativamente sobre el mantenimiento del cuerpo lúteo y consecuentemente afecta la viabilidad del embrión. El entorno ambiental según el ITH diurno con la tipificación del estrés calórico de moderado a severo representa un reto calórico y termoregulatorio que modifica la temperatura corporal y determina la hipertermia sostenida durante la fase circadiana diurna. Por ende, se desarrolla el efecto térmico vectorial tipo domino a partir del entorno ambiental calórico y éste a su vez determina la hipertermia diurna sostenida; ya que el balance calórico positivo distorsiona la temperatura corporal y el perfil homeotermico durante el día.

El análisis psicrométrico diurno evidenció que durante todo el periodo en que se realizaron las transferencias de embriones se mantuvo la posibilidad de un ITH entre 79 y 84 °C% hasta las 6 p.m.; el cual presentó un estrés calórico potencial de moderado a severo antes de las transferencias de los embriones, pero también en resto de las horas diurnas.

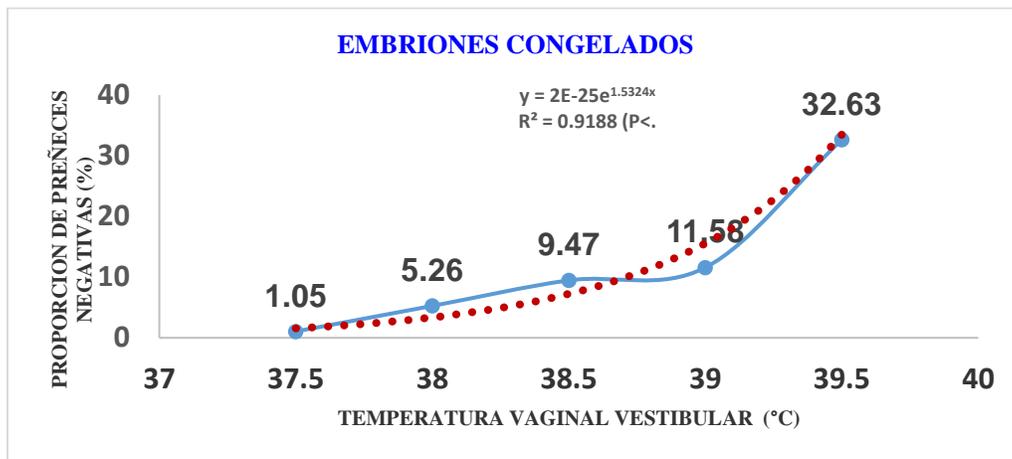
La mortalidad embrionaria temprana sucede desde el 8^{vo} hasta el 24^{vo} día de la gestación y la mortalidad tardía se produce a partir del día 25 hasta el día 45 de la gestación. Con el interés de dar un porcentaje de pérdidas durante estos periodos; Dunne et al., (2000), indicaron que las pérdidas en los primeros 14 días de gestación alcanzan el 30%. Entre los días 14 y 19 ocurre el reconocimiento de la preñez y se pierden del 5 al 10% de las gestaciones, del día 18 al 28 otros 5 al 10% y del 30 al 45 nuevamente entre 5 al 10%, periodo en el cual empieza la formación de la placenta, de acuerdo con Bon Durant (2007) y Diskin y Morris (2008).

Se ha comprobado que los animales cebuinos (*Bos indicus*), son más resistentes y regulan mejor la temperatura, ya que poseen más glándulas sudoríparas, son menos productivos y su piel es más extensa en comparación con el ganado europeo (Berbigier, 1988). Por ejemplo, el estudio que realizó Hernández et al., (2004), donde compararon las razas *Bos indicus* o sus cruces planteó que la ventaja integral es la adaptación a las altas temperaturas; habiendo desarrollado la tolerancia al estrés calórico; minimizando el impacto del golpe calórico y reduciendo la incidencia de la muerte embrionaria. Basados en estas afirmaciones, es que seleccionamos las receptoras en nuestro experimento (*Bos taurus* X *Bos indicus*); aunque también reflejaron la susceptibilidad a la mortalidad embrionaria frente al estrés calórico a pesar de la influencia cebuina (Figuras 2 y 3).

Como respuesta a este problema, Putney et al., (1989) y Rutledge (2001) recomendaron realizar transferencias de embriones (TE) y no aplicar montas naturales (MN) o inseminaciones artificiales (IA) en la estación de verano debido a la mayor incidencia del estrés calórico; donde la TE tiene ventajas. Esta estrategia es ventajosa porque los embriones se transfieren al 7^{mo} día y para este momento ya ha transcurrido el periodo de mayor susceptibilidad al estrés calórico y en consecuencia, se reduce la muerte embrionaria porcentual. Sin embargo, en el presente estudio se observó que la proporción de preñeces negativas aumentó en los embriones congelados y frescos a medida que aumentó la temperatura vaginal vestibular entre los 37.5 y 39.5 °C (Figuras 2 y 3); destacando una tendencia exponencial en ambos tipos de embriones transferidos.

Figura 2

Trayectoria del diagnóstico de la gestación negativa posterior a la transferencia de embriones congelados por debajo del punto crítico biotérmico vaginal en hembras bovinas cruzadas Holstein x Cebú y Pardo Suizo x Cebú bajo estrés calórico tropical.



El incremento de la TV entre 37.5 y 39.5°C estuvo asociado con el aumento en el número de receptoras con un diagnóstico negativo de la preñez de índole exponencial ($R^2 = 0.9188$, $P < .01$); cuyo aumento ascendió desde 1.05% a 37.5 °C hasta 32.63% a los 39.5 °C de TV, cuando se utilizaron EPIVC (2). El uso de los EPIVC en receptoras con una TV entre 37.5 y 39.5°C mostró una tendencia exponencial y aumento desde 3.22% hasta 35.48% (Figura 3). Esta ventaja relativa a favor de los embriones congelados, cambió después de alcanzarse una temperatura vaginal de 39.5 hasta los 41.0 °C. De acuerdo con los estudios de Enright et al., (2000) y Fair et al., (2001), los EPIV son inferiores en términos de capacidad para resistir la crioconservación en comparación con los cigotos producidos in vivo.

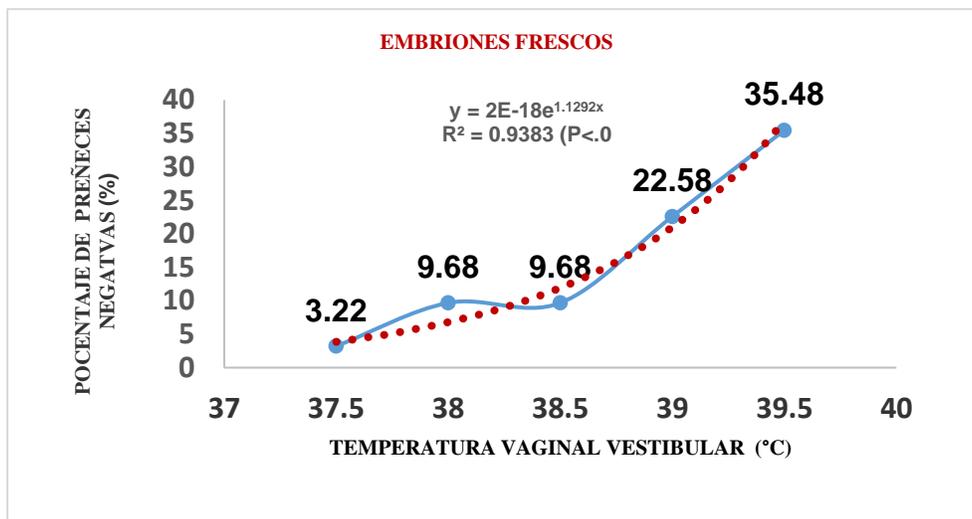
El daño por estrés térmico después de la transferencia, podría ser la causa de una baja tasa de concepción en blastocistos sometidos a la crioconservación tal y como se encontró en nuestro trabajo. Ello también concuerda con Vasques et al. (1995), quienes sugirieron que el estrés por calor después de la transferencia de embriones crioconservados retrasó la función trofoblástica, lo que condujo a la muerte del embrión. Este informe estuvo de acuerdo con el resultado de que los

blastocistos congelados y descongelados transferidos a receptoras expuestas al calor mostraron una expresión más baja de INTF-t (Sakatani 2017).

Krishnan et al., (2017) indicó que las pérdidas máximas de preñeces debido al estrés por calor ocurren durante el período embrionario temprano de 8 a 17 días de gestación. Adicionalmente, de acuerdo con Lopez-Gatius, (2003) y Inskeep y Dailey (2005), el estrés por calor compromete el crecimiento embrionario hasta el día 17; período que se considera crítico para la producción de INTF-t por parte del embrión. La cantidad de INTF-t es crucial para reducir la secreción pulsátil de PGF2 α ; facilitando la persistencia del cuerpo lúteo para el mantenimiento de la preñez. Por lo tanto, el embrión de baja calidad (EPIV), injuriado por la congelación y un CL disfuncional son causas interaccionales que pueden incrementar drásticamente la muerte embrionaria durante el estrés por calor y disminuir el índice de preñez.

Figura 3

Trayectoria del diagnóstico de la gestación negativa posterior a la transferencia de EPIV por debajo del punto crítico biotérmico vaginal en hembras bovinas cruzadas Holstein x Cebú y Pardo Suizo x Cebú bajo estrés calórico tropical.



Entre los 37.5 y 39.5 °C de TVV, los EPIVC tuvieron una ventaja sobre los embriones frescos ya que presentaron un menor índice de gestación negativa en el diagnóstico efectuado al día 38 después de la transferencia. Sin embargo, a partir de la TVV de 39.5 °C, el índice de gestación negativo fue inferior cuando se utilizaron los EPIVF; acumulando entre los 39.5 y 41 °C un total de -17.8% de receptoras con preñez negativa en comparación con las receptoras que recibieron EPIVC.

Lo publicado por Maltes (2011) puede en parte, explicar los resultados obtenidos en nuestro estudio donde se planteó que el origen de los embriones (EPIV), puede tener un impacto significativo en la dinámica de la mortalidad embrionaria cuando se evalúan los cambios temporales en el perfil transcripcional del embrión que se desarrolla a partir de un blastocisto esférico en el día 7 a un embrión ovoide en el inicio de la elongación en el día 13. Las diferencias en esta dinámica de expresión temporal de genes, se compararon los embriones derivados de los

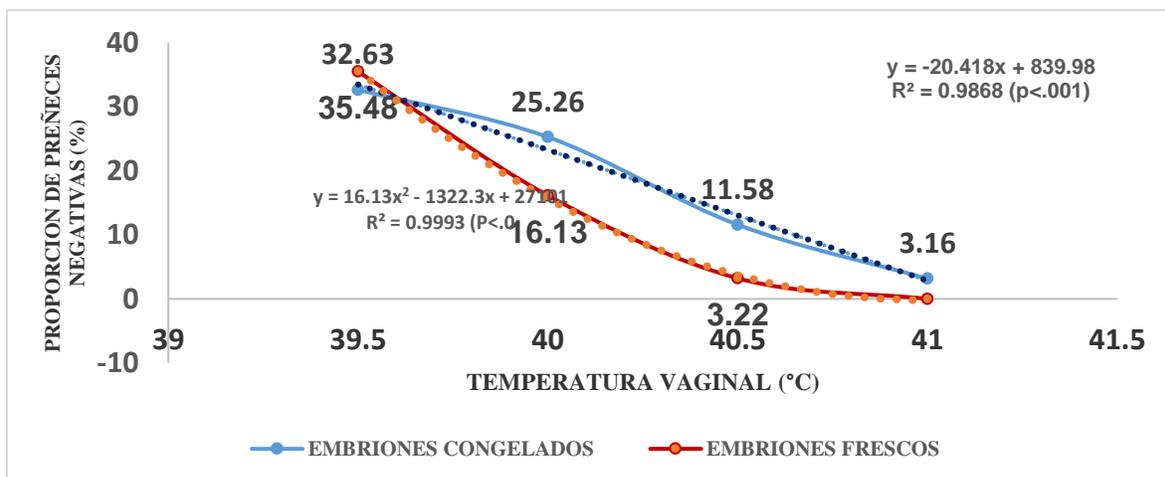
distintos sistemas de producción in vivo o in vitro, que pueden estar asociados con la supervivencia o mortalidad embrionaria. El análisis reveló que la principal influencia en la expresión de genes de embriones fue en la etapa del desarrollo embrionario; apareciendo las mayores diferencias en la expresión génica entre los días 7 y 13, independientemente del origen embrionario, en la cual se encontró una marcada divergencia en el perfil del transcriptoma de los embriones del día 13. Este hallazgo es crucial para el desarrollo normal durante este período crítico, siendo asociado únicamente con los embriones generados in vivo y por lo tanto potencia una mayor supervivencia que en los embriones derivados in vitro.

Por otro lado, los embriones producidos in vitro (PIV) muestran características morfológicas y funcionales distintas de los embriones que se obtienen in vivo (Rodríguez, 2008). Los blastocistos bovinos PIV contienen menos células totales y en la masa celular interna (MCI) que los producidos in vivo. El número de células es un indicador de la viabilidad del embrión. Adicionalmente, el grado de expresión de un número elevado de genes, la actividad metabólica y los índices de desarrollo registran análogas variaciones; lo cual pudiera explicar en parte, la mayor cantidad de pérdidas embrionarias que se experimentan con este tipo de embriones.

En concordancia con nuestros resultados, la baja tolerancia a las altas temperaturas en el tracto reproductivo bajo un estrés calórico de los EPIV puede ser explicada también por los trabajos de Holm y Callesen (1998). Ellos indicaron que las diferencias estructurales y funcionales entre los embriones producidos in vivo e in vitro; se destacan: un menor número de células, inicio de una blastulación más temprana y grandes diferencias entre la expresión de genes importantes para el metabolismo. Estas cualidades pueden ser causa de los bajos porcentajes de gestación al compararse con los obtenidos por embriones producidos in vivo. Adicionalmente, la alta cantidad de lípidos y su baja densidad de flotación que justificarían la baja tolerancia de los mismos ante la congelación, que de hecho causa daños irreversibles en las células embrionarias. Todo esto, lógicamente disminuye o limita aún más la producción del INTF-t necesario para la señal del reconocimiento de la gestación y para la síntesis y liberación de la PGF2 α .

Figura 4

Trayectoria del diagnóstico de gestación negativa posterior a la transferencia de EPIVF o EPIVC por encima del punto crítico biotérmico vaginal en hembras bovinas bajo estrés calórico.



Edwards et al., (2003), planteó que generalmente, los embriones expuestos al calor antes de la implantación en la pared uterina se recuperan completamente o se pierden, ya sea por falla en la implantación o muerte embrionaria. Esto puede resultar en mayores pérdidas previas a la implantación que pueden pasar desapercibidas. Claramente, los aumentos excesivos de temperatura pueden provocar la muerte en cualquier etapa, pero los variados procesos involucrados en la organogénesis (proliferación, diferenciación, migración y muerte celular) son particularmente susceptibles a la inducción de defectos de desarrollo en órganos o estructuras específicas.

Al parecer el efecto negativo del estrés calórico se manifiesta en el caso de los embriones congelados de una forma más drástica al sobrepasar los 39.5°C de temperatura vaginal; efectos que se manifestaron en nuestro trabajo en coincidencia con lo descrito por Morí et al., (2015), quienes indicaron que la aplicación de un choque térmico a los blastocistos (congelados-descongelados) fue muy dañina. El aumento de los daños por la interacción de la congelación-descongelación y el choque térmico podría ser una de las razones de la baja tasa de concepción en la transferencia de embriones congelados-descongelados en animales sometidos al estrés calórico en la zona de bajura tropical.

En concordancia con todo lo relacionado anteriormente, los resultados del presente estudio sugieren que, en presencia de estrés calórico tropical, la transferencia de embriones frescos (PIVF) nos ofrece una ventaja apreciable para lograr mejores resultados positivos de la gestación después que las receptoras presenten una temperatura vaginal vestibular igual o mayor a 39.5°C. De lo contrario, deberíamos utilizar embriones congelados (PIVC), si la temperatura vaginal es inferior a 39.0°C, como límite biotérmico crítico vaginal vestibular inferior. En otras palabras, no hay diferencias entre los embriones congelados y frescos si la temperatura vaginal de las receptoras es de 39.5°C, lo cual constituye el punto de inflexión biotérmica para la transferencia de embriones producidos in vitro congelados y frescos en hembras bovinas cruzadas; independientemente de las categorías empleadas (novillas, vacas secas y vacas con terneros) en el medio tropical húmedo.

CONCLUSIONES

- El entorno microclimático en la zona baja tropical donde se realizaron las transferencias de los embriones presentó las condiciones psicrométricas suficientes para desarrollar el estrés calórico potencial para los bovinos según el ITH en la fase diurna; y por ende, todas las receptoras sufrieron la alteración biotérmica; evidenciando la sobrecarga calórica corporal con la derivación de la hipertermia diurna sostenida en el día de las transferencias de los embriones.
- El complejo térmico e higrométrico ambiental diurno en los siguientes 45 días posteriores a la transferencia de los embriones fue categorizado por el ITH básico e ITH ajustado por radiación solar directa y velocidad del viento validaron el perfil del estrés calórico diurno potencial de moderado a severo para todas las receptoras.
- La temperatura vaginal vestibular al momento de la transferencia de los embriones fue el indicador biotérmico de mayor correlación con el entorno calórico e higrométrico ambiental y en consecuencia fue utilizado para la estratificación térmica sectorial para distribuir los resultados de la transferencia de los embriones según la gestación.

- El aumento de la temperatura vaginal vestibular y la hipertermia derivada por la influencia del estrés calórico diurno severo en las receptoras que recibieron embriones evidenció sostenidamente un aumento en la proporción del índice gestacional negativo, cuya magnitud y tendencia fue heterogénea entre los embriones congelados y frescos.
- La estratificación térmica de la temperatura vaginal vestibular y la distribución del índice de la gestación negativa en las receptoras indicó que el mayor índice de gestación positiva se logró con los embriones frescos cuando la temperatura vaginal vestibular fue superior a los 39.5°C; mientras que los embriones congelados brindaron el mayor índice gestacional por debajo de los 39.5°C.
- Los embriones frescos fueron más eficientes al permitir un mayor índice de éxito en la gestación debido que no han sido estresados por el congelamiento y el descongelamiento que son dos procesos de manejo biotecnológico que ocasionan estrés citológico biofísico y bioquímico a pesar de las mejores estrategias y los medios ideales para la criopreservación embrionaria.

RECOMENDACIONES

Los resultados del presente estudio sugieren que, para lograr mejores resultados de la preñez, se debe utilizar embriones congelados cuando la temperatura vaginal vestibular (TVV) es inferior a 39.5°C; mientras que si las receptoras presentan una TVV superior a 39.5°C se deberá utilizar embriones frescos en hembras receptoras bovinas cruzadas, independientemente de las categorías empleadas (novillas, vacas sin ternero y vacas con terneros) en la zona de bajura en el clima tropical húmedo.

REFERENCIAS

- Aguilar, G.G., Salazar, L. I., y Pérez, J. (2016). Una nueva Regionalización Climática de Panamá como aporte a la seguridad hídrica. Disponible en línea en: https://www.cathalac.int/document/CATHALAC_regiones_%20climaticas_de_panama.pdf
- Ambrose, J.D., Drost, M., Monson, R.L., Rutledge, J. J., Leibfried-Rutledge, M.L., Thatcher, M. J., Binelli, M., Hansen, P. J., Chenoweth, P. J. & Thatcher, W. W. (1999). Efficacy of timed embryo transfer with fresh and frozen embryos to increase pregnancy rates in heat-stressed dairy cows. *J. Dairy Science*. 82: 2369-2376
- Amundson J. L, Mader T. L, Rasby R.J. & Hu Q. S. (2006). Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *J. Anim. Sci.*: 84:3415–3420.
- Araúz, E. E. (2017, Septiembre). Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana en vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el

trópico húmedo. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18, (7), 1-45.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63652580007>

Araúz, E. E., Fuentes, A. y Méndez, N. (2010, Noviembre). 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*. 11, (16). 1-37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63616933002>

Berbigier, P. (1988). *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. 1ra Ed. INRA, Paris.

Biggers, B.G., Geisert, R.D., Wetteman, R.P. & Buchanan, D.S. (1987). Effect of heat stress on early embryonic development in the beef cow. *J. Anim. Sci.* 64: 1512–151.8

Bon Durant, R.H. (2007). Selected Diseases and Conditions Associated with Bovine Conceptus Loss in the First Trimester. *Theriogenology*, 68, 461-473.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X07001690>

Cupp, M. S., Dunn, J. L., Baumgard, L. H., Hamid, H. Y., Abu Bakar, Z., Md Z., Yong M., Goh, H., Abd, W. & Mohamed Mustapha, N. (2012). Effects of Elevated Ambient Temperature on Reproductive Outcomes and Offspring Growth Depend on Exposure Time. *The Scientific World Journal*. 10.1100/2012/359134

Curtis S. E. (1983). *Psychometrics. Enviromental management in animal agriculture*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.

Cutini, A., Teruel, M. y Cabodevila, J. (2000). Factores que determinan el resultado de la transferencia no quirúrgica de embriones bovinos. *Revista Taurus* 7:28-39.

De Armas, R. (2020). Transferencia de embriones y su aceptación en la ganadería panameña. Disponible en línea en: [https://www.academia.edu/17438729/Posibilidades de la Biotec Animal como herramienta para el mej ganadero y su estado actual en Panama](https://www.academia.edu/17438729/Posibilidades_de_la_Biotec_Animal_como_herramienta_para_el_mej_ganadero_y_su_estado_actual_en_Panama)

De Armas, R., De Gracia, J. M. y Solís., A. (2019). Incidencia de cuerpos lúteos compactos (clcom) o cavitarios (clc), in vivo y su efecto sobre los resultados de preñez después de la transferencia de embriones bovinos producidos in vitro. *Revista Investigaciones Agropecuarias*. 1: (2). 1-14. Disponible en línea en: https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/491/422

De Armas, R. y Pérez, L.L. (2002). Resultado de la transferencia de embriones congelados y frescos en novillas Holstein-Cebú, Región de Azuero (Bosque Tropical Seco). *Ciencia Agropecuaria*. 11: 75-86.

- Demetrio, D. G. B., Benedetti, E., Demetrio, C. G. B., Fonseca, J., Oliveira, M., Magalhaes, A. & Dos Santos, R. M. (2020). How can we improve embryo production and pregnancy outcomes of Holstein embryos produced in vitro? (12 years of practical results at a California dairy farm). *Animal reproduction*, 17(3), e20200053. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0053>
- De Rensis, F., Lopez-Gatius, F., García-Ispuerto, I., Morini, G. & Scaramuzzi, R.J. (2017). Causes of declining fertility in dairy cows during the warm season. *Theriogenology*. 91: 145–153.
- Dikmen, S. & Hansen, P. J. (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. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1370>
- Diskin, M. G. & Morris, D. G. (2008). Embryonic and early foetal losses in cattle and other ruminants. *Reprod Domest Anim.* 43(2):260-7.
- Dobson, H., Tebble, J.E., Smith, R.F. & Ward, W.R. (2001). Is stress really all that important? *Theriogenology*. 55: 65–73.
- Drost, M., Ambrose, J.D., Thatcher, M.J., Cantrell, C.K., Wolfsdorf, K.E., Hasler, J.F. & Thatcher, W. W. (1999). Conception rates after artificial insemination or embryo transfer in lactating dairy cows during summer in Florida. *Theriogenology*. 52: 1161–1167.
- Dunne, L. D., Diskin, M. G. & Sreenan, J. M. (2000). Embryo and foetal loss in beef heifers between day 14 of gestation and full term. *Anim Reprod Sci.* 28:58(1-2):39-44. [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(99\)00088-3](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(99)00088-3)
- Edwards, M. J., Saunders, D. R. & Shiota, K. (2003). Effects of heat on embryos and foetuses, *International Journal of Hyperthermia*, 19:3, 295-324, <https://doi.org/10.1080/0265673021000039628>
- Elizondo, V. C. (1998): *Propedéutica Clínica Veterinaria*. Ed. UAAAN, Depto. Ciencias Médico Veterinarias. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Enright, B. P, Lonergan, P., Dinnyes, A., Fair, T., Ward, F.A., Yang, X. & Boland, M.P. (2000). Culture of in vitro produced bovine zygotes in vitro vs in vivo: implications for early embryo development and quality. *Theriogenology*. 54:659–673. Disponible en línea en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0093691X00003812?via%3Dihub>
- Fair, T., Lonergan, P., Dinnyes, A., Cottell, D.C., Hyttel, P., Ward, F.A. & Boland, M.P. (2001). Ultrastructure of bovine blastocyst following cryopreservation: effect of method of blastocyst production. *Mol Reprod Dev.* 58: 186-195. Disponible en línea en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11139231/>

- Ferré, L. B., Kjelland, M. E., Strøbech, L., Hyttel, P., Mermillod, P. & Ross, P. J. (2020). Review: Recent advances in bovine in vitro embryo production: reproductive biotechnology history and methods. [Review: Recent advances in bovine in vitro embryo production: reproductive biotechnology history and methods - ScienceDirect](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31760966/). Disponible en línea en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31760966/>
- Fraser, C. M., J. A. Bergeron y S. E. Aiello. (1993). Constantes fisiológicas en circulación, respiración y termología animal. En: El Manual Merck de Veterinaria. Merck Sharp and Dome Company, NJ, USA.
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J.L., Nogareda, C., López-Béjar, M. & De Rensis, F. (2006). Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology*. 65: 799–807.
- Gendelman, M. & Roth, Z. (2012). In vivo vs. in vitro models for studying the effects of elevated temperature on the GV-stage oocyte, subsequent developmental competence and gene expression. *Animal Reproduction Science*. 134: (3–4) 125-134
- Gill, J. (1978). Nonparametric analysis in animal and medical sciences. Design and Analysis of Experiments in the Animal and Medical Sciences. Volume I, II and III. Ed: Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
- Gokhale, G., & Sharma, G. D. (2021). Adverse Impact of Heat Stress on Bovine Development: Causes and Strategies for Mitigation. In (Ed.), *bovine Science - Challenges and Advances*. IntechOpen. Disponible en línea en: <https://doi.org/10.5772/intechopen.99307>
- Guerra, R., Solis, A., Sandoya, G., y De Armas, R. (2012). Evaluación de tres protocolos de criopreservación de embriones bovinos obtenidos in vivo e in vitro. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(10).
- Hansen, P. J. (2007). Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology*. 2007;68(1):S242–S249. Disponible en línea en: [doi:10.1016/j.theriogenology.2007.04.008](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.008)
- Hansen, T., Austin, K., Perry, D., Pru, J., Teixeira, M. & Johnson, G. (1999). Mechanism of action of interferon-tau in the uterus during early pregnancy. *Journal of reproduction and fertility*. 54, 329-339. [Disponible en línea en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10692865/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10692865/)
- Herrera, H. J. y Barreras S. A. (2001). Análisis de varianza y covarianza. Manual de análisis estadístico en experimentos pecuarios. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Escuela superior de Graduados.
- Hernández, J., Chase, C. C. Jr. & Hansen, P. J. (2004). Differences in Heat Tolerance Between Preimplantation Embryos from Brahman, Romosinuano, and Angus Breeds. *J. Dairy Sci.* 87:53–58. Disponible en línea en: https://animal.ifas.ufl.edu/hansen/publications_pdf/docs/2004_hernandez.pdf

- Holm, P. H. & Callesen, H. (1998). In vivo versus in vitro produced bovine ova: similarities and differences relevant for practical application. *Reprod Nutr Dev*;38(6):579-94. Disponible en línea en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9932292/>
- Huang, C., Tsuruta, S., Bertrand, J.K., Misztal, I., Lawlor, T.J. & Clay, J.S. (2009). Trends for conception rate of Holsteins over time in the southeastern United States. *J. Dairy Sci.* 92: 4641–4647.
- Igono, M. O., Bjotvedt, G. & Sanford-Crane, H. T. (1992). Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36:77–87. Disponible en línea en: <https://www.windoo.it/wp-content/uploads/2018/11/Igono-1992.pdf>
- Inskeep, E. K. & Dailey, R.A. (2005). Embryonic death in cattle. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice.* 21: 437-461
- Irouléguy, J. M. (2011). Transferencia de embriones frescos a tiempo fijo: Algunas variables prevenir la tasa de preñez. Engormix. Disponible en línea en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/transplante_embriionario/32-a_tiempo_fijo.pdf
- Iwazawa, M. & Acosta, T. (2013). Effect of elevated temperatures on bovine corpus luteum function: expression of heat-shock protein 70, cell viability and production of progesterone and prostaglandins by cultured luteal cells. *Animal Production Science* 54(3) 285-291 <https://doi.org/10.1071/AN13027>
- Kasimanickam, K. & Kasimanickam, V. (2021). Impact of heat stress on embryonic development during first 16 days of gestation in dairy cows. *Scientific Reports* | (2021) 11:14839 Disponible en línea en: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-94278-2.pdf?origin=ppub>
- Krishnan, G., Bagath, M., Pragna, P., Vidya, M. K., Aleena, J., Ravindranathan Archana, P., Sejian, V., & Bhatta, R. (2017). Mitigation of the Heat Stress Impact in Livestock Reproduction. *Theriogenology.* IntechOpen. Disponible en línea en: <https://doi.org/10.5772/intechopen.69091>
- Lenis, Y., Ramón, N., Restrepo, J., Olivera, M. y Tarazona, A. (2010). Interferón TAU en la ventana de reconocimiento materno embrionario bovino. *Revista UDCA.* 13, 17-28. Disponible en línea en: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/705>
- Limesand, S. W., Leticia E. Camacho, Amy C. Kelly, Antolic, A. T. (2018). Impact of thermal stress on placental function and fetal physiology., nSupplement 1, p.886-898.
- Limesand, S. W., Leticia, E. Camacho, A, Kelly, C. and Andrew, T. (2018). Impact of thermal stress on placental function and fetal physiology. *Animal Reproduction.* Vol.15, Suppl.1, 886-898. <http://dx.doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0056>

- Liu, Jiangjing, Lanqi Li, Xiaoli Chen, Yongqiang Lu, and Dong Wang. (2019). Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: a novel idea for monitoring and evaluation of heat stress — A review. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2019 Sep; 32(9): 1332–1339. Disponible en línea en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6722315/>
- López, A; Gómez, L; Ruiz, Z; Olivera, M y Giraldo, C. (2008). Reconocimiento materno de la preñez e implantación del embrión: modelo bovino. *Analecta Veterinaria*, 28. Disponible en línea en: https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/SEDICI_436ea95d6910fed94f5c787b31003f13
- López-Gatius, F. (2003). Is fertility declining in dairy cattle?: A retrospective study in northeastern Spain. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01359-6](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01359-6)
- Lozano, R. R., Asprón, M. A., Vásquez, C. G, González, E. and Aréchiga, C. F. (2010). Efecto del estrés calórico sobre la producción embrionaria en vacas superovuladas y la tasa de gestación en receptoras. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3), 189-203. Disponible en línea en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000300001&lng=es&tlng=es
- Mader, T. L. Mader, M. S. Davis, and T. Brown-Brandl. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Animal Science Department, University of Nebraska, Nebraska, USA. J. Anim. Sci.* 2006. 84:712–719. Disponible en línea en: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=animalscifacpub>
- Maltes, M. C. (2011). Comunicación materno-embriónica en la especie bovina, papel de la progesterona y calidad embrionaria en el estadio de elongación durante el reconocimiento materno de la gestación. Disponible en línea en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=165587>
- Mori M, Hayashi T, Iozaki Y, Takenouchi N, Sakatani M. Heat shock decreases the embryonic quality of frozen-thawed bovine blastocysts produced in vitro. *J Reprod Dev* 2015; 61: 423–429. <https://doi.org/10.1262/jrd.2015-003>
- Olivera, A., Tarazona, M., Ruíz, C., Giraldo, E. (2007). Modelo de luteólisis bovina. *Rev. Col. Ciencias Pecuarias.* 20, 387-393.
- Putney, D., Mullins, S., Thatcher, W.W., Drost, M. and Gross, T.S. (1989). Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between the onset of estrus and insemination. *Animal Reproduction Science.* 19, (1–2) 37-51. [http://doi.org/10.1016/0378-4320\(89\)90045-6](http://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90045-6).

- Robles, J., Alcocer S., Pérez J., Ruiz R., Sandoval R. y Gonzáles L. (2014) Manual de prácticas de clínica de los bovinos 1. Universidad nacional autónoma de México, pp.14-20. Disponible en línea en: https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/Manuales/22_CLINICA_BOVINOS.pdf
- Rodríguez, A. (2008). Retinoides en el desarrollo embrionario bovino in vitro. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. España <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=180897>. Disponible en línea en: <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=I2W1Lm67LEM%3D>
- Rosenberg, M., Herz, Z., Davidson, M. and Folman, Y. (1977). Seasonal variations in postpartum plasma progesterone levels and conception in primiparous and multiparous dairy cows. Disponible en línea en: https://rep.bioscientifica.com/view/journals/rep/51/2/jrf_51_2_009.xml
- Rutledge, J. J. (2001). Use of embryo transfer and IVF to bypass effects of heat stress. Theriogenology. 55: 1,105-111. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(00\)00449-0](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(00)00449-0)
- SAS. (2004). Nonparametric Analysis, Correlation and Polinomic regressions. Statistical Analysis System, North Caroline State University, Relight, NC, USA.
- Sakatani, M. (2017). Effects of heat stress on bovine preimplantation embryos produced *in vitro*. Journal of Reproduction and Development. 63 (4): 347-352. Disponible en línea en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28496018/>
- Taverné, M., Breukelman, S., Perényi, Z., Dieleman, S., Vos, P. Jonker, H., de Ruigh, L., van Wagendonk-de Leeuw, J.M., Beckers, J.F. (2002). The monitoring of bovine pregnancies derived from transfer of in vitro produced embryos. Reproduction Nutrition Development, 2002, 42 (6), pp.613-624. ff10.1051/rnd:2002047ff. ffhal-00900426f Disponible en línea en: <https://hal.science/hal-00900426/document>
- Thatcher, W., Meyer, M. y Danet-Desnoyers, G. (1995). Maternal recognition of pregnancy. Journal of reproduction and fertility. 49, 15-28
- Thatcher, W. W., Guzeloglu A., Mattos R., Binelli M., Hansen T. R., and Pru J. K. (2001). Uterine-conceptus interactions and reproductive failure in cattle. Theriogenology 56: 1435-1450.
- Tithof, P; Roberts, M; Guan, W; Elgayyar, M y Godkin, J. (2007). Distinct phospholipase A2 enzymes regulate prostaglandin E2 and F2alpha production by bovine endometrial epithelial cells. Reproductive Biology and Endocrinology. 5, 16. [Disponible en línea n: regulate prostaglandin E2 and F2a production by bovine endometrial epithelial cells/link/0e5fdc4af0c404bcbfb1cd1b/download](https://doi.org/10.1186/1297-9716-5-16)

- Tovió, N.L., Duica, A. A., y Grajales, H. L. (2020) Mortalidad embrionaria en bovinos. *Genética Bovina*. Nov. 2020. Disponible en línea en: <https://revistageneticabovina.com/biotecnologia/mortalidad-embrionaria/>
- Vasques, M. I., Horta, A. E. M., Marques, C.C., Sasser, R.G., Humblot, P. (1995). Levels of bPSPB throughout single and twin pregnancies after AI or transfer of IVM/IVF cattle embryos. *Animal Reproduction Science*, 38: 4, 279-289. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(94\)01373-T](https://doi.org/10.1016/0378-4320(94)01373-T).
- West, J.W. (2003, Junio). Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 86, (Issue 6), 2131-2144, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- Wolfenson, D., Roth, Z. and Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 2000;60-61:535–547. Disponible en línea en: https://www.researchgate.net/profile/Rina-Meidan/publication/272090478_Impaired_reproduction_in_heat-stressed_cattle_basic_and_applied_aspects/links/54da583c0cf233119bc32acb/Impaired-reproduction-in-heat-stressed-cattle-basic-and-applied-aspects.pdf
- World Weather. (2023). Alanje Annual Weather Averages – Chiriquí, Panamá. <https://www.worldweatheronline.com/alanje-weather-averages/chiriqui/pa.aspx>

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD BUFFER Y DOSIS DE CaCO_3 DE LOS SUELOS DEGRADADOS DEL DISTRITO DE ÑÜRÜM, CERRO PELADO, COMARCA NGÄBE BUGLE, PANAMÁ

DETERMINATION OF THE BUFFER CAPACITY AND CaCO_3 DOSE OF DEGRADED SOILS IN THE DISTRICT OF ÑÜRÜM, CERRO PELADO, NGÄBE BUGLE REGION, PANAMA

*Ruiz-Morales, Giancarlo A. Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica (CITT), Panamá. giancarlo.ruiz@utp.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-0862-9968>

Menéndez-Sierra, Antonio. Consultor independiente de Ciencias Agrícolas, Panamá. amenendez90@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-3407-123X>

Fossatti-Carrillo, Aníbal. Universidad Tecnológica de Panamá, Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica (CITT), Panamá. anibal.fossatti@utp.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-4284-3500>

*Autor de Correspondencia: giancarlo.ruiz@utp.ac.pa
DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4519>

Recibido: 04/05/2023

Aceptado: 17/10/2023

RESUMEN. Una de las formas de evaluar la capacidad de respuesta en el tiempo de enmiendas agrícolas, es a través de la aplicación de carbonato de calcio sobre la acidez intercambiable, pH, P, bases de intercambio y micronutrientes de suelos ácidos. Con la finalidad de conocer la capacidad buffer del suelo y dosis de carbonato de calcio se utilizó un diseño factorial 5x6x3 con cinco tratamientos de carbonato de calcio, seis subtratamientos de tiempo de muestreo y tres repeticiones cada uno. Los resultados de los tratamientos mostraron que el pH de los suelos del distrito de Ñürüm es relativamente bajo y que el mismo se pueden mejorar con aplicaciones de carbonato de calcio, ya que al conocer la capacidad buffer del suelo se deja en evidencia los efectos más importantes de las dosis de cal aplicadas sobre el contenido de Ca y el pH del suelo y las relaciones de estos con los demás nutrientes. El solo hecho de mantener el suelo a humedad de campo por 15 días hace que cambie la composición química y disminuya el pH aproximadamente en 0,5 unidades, debido presumiblemente al aumento de la actividad microbiana y a la liberación de ácido fosfórico a la solución de suelo. Sin embargo, las dosis de carbonato de calcio aplicadas solo incrementaron el calcio cambiante y el pH en presencia de humedad. No se alcanzó la capacidad buffer ya que la mejor combinación usada (4000 kg de carbonato de calcio x 15 días de incubación) no fue suficiente para elevar el pH en una unidad, no obstante, se observó una relación entre la dosis de cal y el pH ($\text{pH}=4.83+0.000116 \times \text{kg de cal aplicada}$) por lo que asumiendo que el maíz requiere un $\text{pH} > 5.5$ pueden considerarse como adecuadas las dosis mayores a 5.5 ton de cal por hectárea.

PALABRAS CLAVE: *Capacidad buffer, carbonato de calcio, suelos degradados, Ñurum.*

ABSTRACT. One of the ways to evaluate the response capacity over time of agricultural amendments is through the application of calcium carbonate on the exchangeable acidity, pH, P, exchange bases and micronutrients of acidic soils. In order to know the buffer capacity of the soil and doses of calcium carbonate, a 5x6x3 factorial design was used with five calcium carbonate treatments, six sampling time sub treatments and three repetitions each. The results of the treatments showed that the pH of the soils in the Ñürüm district are relatively low and that they can be improved with applications of calcium carbonate, since knowing the buffer capacity of the soil makes the most important effects evident. of the doses of lime applied on the Ca content and pH of the soil and the relationships of these with the other nutrients. The mere fact of maintaining the soil at field humidity for 15 days causes the chemical composition to change and the pH to decrease by approximately 0,5 units, presumably due to the increase in microbial activity and the release of phosphoric acid to the soil solution. However, the applied doses of calcium carbonate only increased exchangeable calcium and pH in the presence of moisture. The buffer capacity was not reached since the best combination used (4000 kg of calcium carbonate x 15 days of incubation) was not enough to raise the pH by one unit, however, a relationship was observed between the dose of lime and the pH ($\text{pH}=4.83+0.000116 \times \text{kg of lime applied}$) so assuming that corn requires a $\text{pH} > 5.5$, doses greater than 5.5 tons of lime per hectare can be considered adequate.

KEYWORDS: *Buffer capacity, calcium carbonate, degraded soils, Ñurum.*

INTRODUCCIÓN

El distrito de Ñürüm se encuentra ubicado dentro de la Comarca Ngäbe-Buglé, formando parte de un paisaje donde predominan los terrenos accidentados y las altas precipitaciones, factores que inciden sobre la erosión y la lixiviación de los suelos, favoreciendo la acidez, todo lo que afecta la producción.

Los suelos predominantes son los Ultisoles, que representan cerca del 40% del territorio de Panamá. Estos suelos se caracterizan por presentar elevada acidez y alta saturación de aluminio, lo que hace necesario el uso de enmiendas y encalado para lograr el máximo aprovechamiento de la actividad agropecuaria. (Villarreal José, et al., 2010).

En las últimas décadas, la acidificación de los suelos se ha ido acelerando, debido a la exportación de nutrientes básicos, sin reposición, a través de la producción agraria de vegetales, carne o leche; a la aplicación de fertilizantes nitrogenados amoniacales en dosis altas y crecientes (Burle et al., 1997; Limousin y Tessier, 2007; Xu et al. 2012); a la expansión de la siembra directa, con su acumulación de materia orgánica en la superficie (Burle et al., 1997; Tang, 1998), a lo que se adiciona la lixiviación natural de las bases presentes en el suelo (Na, K, Ca y Mg), particularmente alta en suelos de mucha pendiente, textura gruesa y/o que se deforestan y alistan quemando la cubierta vegetal.

Desde el punto de vista de la nutrición vegetal los perjuicios de una reducción del pH, son:

1. La disminución de la reserva de los nutrientes básicos.
2. Los desbalances entre nutrientes. (Pellegrini et al., 2002; Pellegrini et al., 2004; Vázquez et al., 2003).
3. La toxicidad de aluminio, hierro y manganeso, cuando los valores descienden por debajo de 5.3-5.5 (Oorts et al. 2004; Millán et al. 2010; Xu et al. 2012).

Estos fenómenos son progresivos, ya que la reducción de pH trae como consecuencia una merma en la capacidad de intercambio catiónico, debido a la reducción de cargas variables negativas de los coloides y en consecuencia, hay menores posibilidades de retener las reducidas bases existentes (Blake et al., 1999) lo que conduce a un ciclo cerrado.

El tratamiento a este problema se basa en el empleo de productos básicos, generalmente derivados de la minería como caliza, dolomita y yeso, entre otros, y para determinar la dosis del producto a emplear se han usado diferentes procedimientos, siendo lo más popular el uso del pH como indicador. En consecuencia, las investigaciones se han centrado en conocer el rango de pH óptimo para las diferentes especies de cultivos, para después tratar de corregirlo utilizando un enmendante, aunque la reducción de la producción de los cultivos a pH bajo, posiblemente, esté relacionada con otros factores edáficos como los niveles de Al y Mn, el contenido de materia orgánica y/o el material genético utilizado para la siembra (Vázquez y Pagani, 2015).

La capacidad reguladora o buffer de un suelo se define como la resistencia que tiene el suelo a cambiar el pH cuando se le adicionan sustancias ácidas o básicas, lo que depende del contenido y tipo de acidez, el tipo de arcilla, la presencia de sales, el contenido de materia orgánica y del pH

inicial del suelo (Zapata Hernández, 2004; Van Rensburg et al. 2009) y es utilizada para estimar la cantidad de enmendante que hay que aplicar para modificar el pH de forma permanente.

Existen varios métodos que permiten la determinación rápida de las necesidades de encalado de los suelos. (Fernando J. y Ramírez R., 2002; Álvaro I, 2012)

1. Bradfield y Allison (1933). **Titulación-equilibrio del suelo** con $\text{Ca}(\text{OH})_2$, donde cantidades crecientes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ son agregadas a las suspensiones de suelo. La curva de titulación se ajusta a cierto pH, con la intersección de la curva ascendente del pH y la horizontal correspondiente a la cantidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ añadido para alcanzar la condición de pH deseado.
2. Woodruff (1948). Método de la **solución reguladora de pH**. El método consiste en el uso de una solución reguladora de acetato y p-nitrofenol que experimenta una variación de pH lineal de acuerdo al H^+ intercambiable presente en el suelo dentro del intervalo de pH comprendido entre 6,0 y 7,0. La mezcla es ajustada a pH 7 y cada 0,2 mmol de H^+ adicionado causa la caída del pH en 0,1 unidades dentro del intervalo mencionado. Shoemaker *et al.* (1961), modificaron esta técnica utilizando una solución de baja capacidad reguladora consistente en una mezcla diluida de trietanolamina, p-nitrofenol, cromato de potasio y acetato de calcio.
3. Yuan (1974). Técnica de **doble solución reguladora**, la que consiste en equilibrar dos alícuotas de la misma muestra de suelo, con dos soluciones reguladoras de la misma composición, pero con diferente pH (6,0 y 7,0 respectivamente). La determinación de las necesidades de encalado de los suelos se calcula mediante una fórmula basada en las lecturas de pH de ambas soluciones buffer, este método demostró una alta precisión para medir la acidez de una amplia gama de suelos del sudeste de Estados Unidos.
4. Barrow y Cox (1990). **Incubaciones breves** y consiste en mezclar diferentes cantidades de CaCO_3 con pequeñas cantidades de suelo, estos son humedecidos a capacidad de campo e incubados durante algún tiempo a temperatura de 60°C , al término del cual se miden el pH, determinándose así la cantidad de cal necesaria para neutralizar la acidez del suelo. Estos autores demostraron que la mayor parte del cambio de pH ocurre rápidamente y la velocidad de la reacción aumento con la temperatura. De esta experiencia concluyeron que es posible producir, en pocos días a 60°C , efectos similares a los ocurridos durante meses a temperatura ambiente.

El método, usado para este trabajo y, que es considerado mundialmente como referencia para la evaluación de otras técnicas (Tran y Van Lierop, 1982), consiste en estimar las necesidades de encalado, a partir de la curva obtenida, luego de incubar los suelos con carbonato de calcio o alguna otra base por un tiempo, que varía de acuerdo con el tipo de suelo, la temperatura de incubación y la base empleada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se tomó suelo de 0 – 20 cm de profundidad, extraído de diferentes puntos de un área experimental de 1000 m^2 , se usó el sistema de sobre cerrado, con un azadón y una pala. El área se seleccionó previamente, en la escuela de Nürüm, lugar donde se realizó el estudio de dosis de encalado.

El suelo se depositó en una bolsa y se homogenizó, y se conformó un estudio con lotes de 5 dosis de carbonato de calcio (tratamientos) que se tomaron en diferentes momentos (tiempo de incubación) con un espacio de 15 días entre muestras, replicados en tres ocasiones.

Se empleó un diseño factorial 5x6x3 con cinco tratamientos de carbonato de calcio (4000 kg/ha, 2000 kg/ha, 1000 kg/ha, 500 kg/ha y 0 kg/ha), seis subtratamientos de tiempo de muestreo después de la aplicación (0 días, 15 días, 30 días, 45 días y 60 días) y tres repeticiones cada uno.

Se utilizaron 90 potes plásticos que se rellenaron con 500 g de suelo cada uno, organizados, por periodo de incubación, tratamientos y, finalmente, por repeticiones, en una mesa, a temperatura ambiente y se analizaron en el tiempo correspondiente.

Se utilizó carbonato de calcio No 120 y se aplicó en seco, se mezcló uniformemente con el suelo de cada pote y cada dosis por separado, se llevó al 80 % de capacidad de campo, con agua desionizada. Una vez alcanzada la capacidad de campo cada pote se pesó y se fijó el peso. Cada dos días el peso de los potes y la capacidad de campo mantenida agregando agua hasta el peso correspondiente.

Al término de cada periodo de incubación las muestras se secaron al aire y se tamizaron para determinar: K, P, Fe, Zn, Cu, Mn por Olsen Modificado; Ca, Mg, Acidez por KCl: 1N y pH en H₂O en el laboratorio “Agro análisis” de Costa Rica.

Los datos se analizaron empleando técnicas uní y multivariadas, de varianza, correlación no paramétrica, regresión, análisis de factores con rotación por varimax, coordenadas y componentes principales, y la técnica de Chernoff, todas incluidas y descritas en el paquete estadístico Statgraphics Centurion v18. (Statpoint Technologies, Inc., 2014) que fue usado en el procesamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conociendo el efecto que tiene el pH sobre el comportamiento de los elementos que determinan el estado nutricional de los cultivos; que el pH de los suelos del distrito de Ñürüm es relativamente bajo (< 5,1; IDIAP 2006) y, que el mismo se puede mejorar con aplicaciones de carbonato de calcio, se implementó el estudio de determinación de la capacidad buffer del suelo, donde evidentemente los efectos más importantes son los de las dosis de cal aplicadas sobre el contenido de Ca y el pH del suelo y las relaciones de estos con los demás elementos.

En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza para el contenido de calcio intercambiable. En el mismo se aprecian efectos significativos sobre el contenido de calcio tanto de las dosis aplicadas como del tiempo de incubación ($F = 6,04$ con α de 0,0153 y 32,63, con α de 0,0004 respectivamente), sin que existieran diferencias entre réplicas ni interacciones.

Tabla 1*Análisis de Varianza para Ca - Suma de Cuadrados Tipo III.*

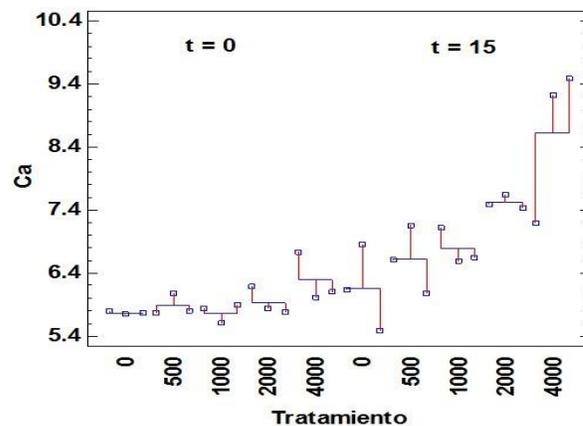
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo	10,9929	1	10,9929	32,63	0,0004
B: Tratamiento	8,14039	4	2,0351	6,04	0,0153
C: Repetición	0,300207	2	0,150103	0,45	0,6554
INTERACCIONES					
AB	3,57015	4	0,892537	2,65	0,1123
AC	0,795287	2	0,397643	1,18	0,3555
BC	1,57729	8	0,197162	0,59	0,7674
RESIDUOS	2,69501	8	0,336877		
TOTAL (CORREGIDO)	28,0712	29			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Como era de esperar las aplicaciones de cal incrementan los contenidos de Ca^{2+} en el suelo (Figura 1), no obstante, resulta mucho mayor el efecto que ejerce el periodo de incubación de la muestra que la dosis de cal aplicada y los mejores resultados (contenidos de calcio más altos) se consiguen con la combinación de ambos (15 días de incubación y 4000 kg de Ca CO_3).

Figura 1

Efectos del periodo de incubación y la dosis de cal sobre el contenido de calcio del suelo en el distrito de Ñürüm.



Al ingresar al suelo el agua produce un nuevo equilibrio químico, este equilibrio depende de la solubilidad de los elementos presentes en el, de la cantidad de CO_2 que contiene el suelo y de la cantidad y tipo microorganismos presentes y se debe a un efecto físico: aumento de volumen y corrimiento de las placas de la micela de suelo que libera nutrientes; un efecto químico: al solubilizar una parte de los minerales y reaccionar con el CO_2 del suelo formando ácido carbónico y un efecto biológico: al reactivar la vida microbiana, ya que como se sabe los microorganismos reaccionan fácil y rápidamente a los estímulos ambientales.

En un estudio de encalado es importante diferenciar los efectos de la dosis de cal de los efectos de la incubación, ya que como se comprenderá, al llevar las muestras a capacidad de campo y

mantenerlas inalteradas a temperatura ambiente por varios días, se influye sobre muchas variables y los parámetros de efectos específicos son difíciles de determinar, ya que hay un gran número de variables influyentes que pueden ser, incluso, desconocidas, o no constantes; es por ello que la varianza en los ensayos es crítica para los procesos de detección de efectos y de interpretación de datos.

Las variaciones del pH en agua con las condiciones de incubación y las aplicaciones de cal se muestran en la Tabla 2. Como se aprecia el comportamiento de la varianza es similar al del Ca^{2+} siendo afectados, igual, sólo por el periodo de incubación y la dosis de cal, sin que existieran interacciones significativas. ($F = 160,02$, con α de $0,0000$ y $4,63$ con α de $0,0314$ respectivamente).

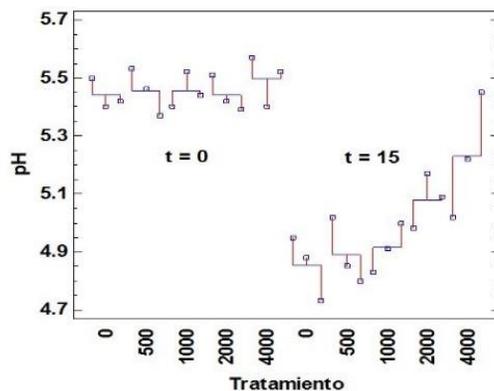
Tabla 2
Análisis de Varianza para pH - Suma de Cuadrados Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo	1,61008	1	1,61008	160,02	0,0000
B: Tratamiento	0,186467	4	0,0466167	4,63	0,0314
C: Repetición	0,00056	2	0,00028	0,03	0,9726
INTERACCIONES					
AB	0,120667	4	0,0301667	3,00	0,0872
AC	0,0237067	2	0,0118533	1,18	0,3561
BC	0,121373	8	0,0151717	1,51	0,2874
RESIDUOS	0,0804933	8	0,0100617		
TOTAL (CORREGIDO)	2,14335	29			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

No obstante, cuando se observa la Figura 2, en los componentes de la varianza se aprecia una caída del pH de 0,5 unidades, debido a la adición de agua al 80% de la capacidad de campo y los 15 días de incubación. En la misma pueden observarse dos poblaciones, la primera sin humedad y sin tiempo de incubación, donde la dosis de cal prácticamente no influyó sobre el pH y otra con una alta influencia de la cal sobre el pH, aunque con un valor inicial medio punto porcentual más bajo. ($t_0\text{Ca}_0$: 5.4567; $t_{15}\text{Ca}_0$: 5.0073).

Figura 2
Efectos del periodo de incubación y la dosis de cal sobre el pH en agua del suelo en el distrito de Muran.



Esta caída del pH del suelo puede deberse a que, en condiciones de humedad óptima y calor, se activa un proceso de crecimiento y desarrollo de microorganismos, que reducen la materia orgánica, liberando ácido adicional. Se puede observar en la Figura 3 que este ácido adicional provoca que el pH del suelo descienda, lo que hace soluble a todo el fósforo orgánico unido al suelo y, por lo tanto, más disponible, contribuyendo también a la acidez. Este proceso de liberación de ácido provocado por el fósforo se conoce como hiperliberación y puede pasar muy rápidamente, pudiendo llegar la caída hasta 2.0 unidades de pH.

Como puede apreciarse en el análisis de varianza del fósforo (tabla 3), sólo fue significativo el efecto del proceso de incubación (15 días) responsable del ingreso de 6 ppm más de fósforo asimilable a la solución de suelo ($t_0Ca_0 = 18,36 \pm 0,6$; $t_{15}Ca_0 = 24,5 \pm 1,4$ ppm).

Tabla 3

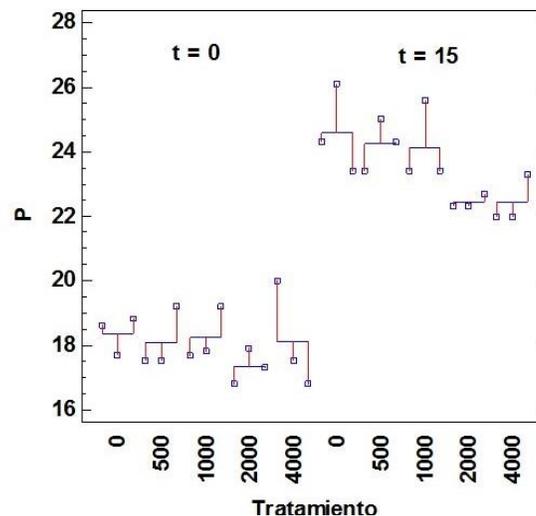
Análisis de Varianza para P - Suma de Cuadrados Tipo III.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo	230,741	1	230,741	176,86	0,0000
B: Tratamiento	11,1653	4	2,79133	2,14	0,1671
C: Repetición	0,610667	2	0,305333	0,23	0,7966
INTERACCIONES					
AB	3,97867	4	0,994667	0,76	0,5781
AC	3,60267	2	1,80133	1,38	0,3054
BC	5,16267	8	0,645333	0,49	0,8304
RESIDUOS	10,4373	8	1,30467		
TOTAL (CORREGIDO)	265,699	29			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

Figura 3

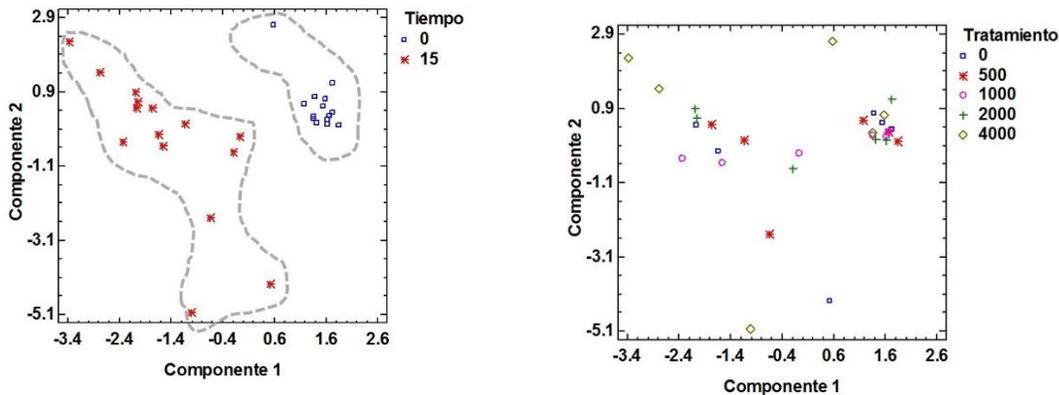
Efectos del periodo de incubación y la dosis de cal sobre el contenido de fósforo asimilable del suelo en el distrito de Ñürüm.



Aunque para el resto de los elementos el análisis pudiera hacerse sobre la base de estudios individuales, el número de análisis sería alto y su interpretación compleja ya que como sabemos, sus variaciones dependen más de las relaciones entre ellos, que de los efectos directos de los tratamientos aquí empleados, por otra parte también se conoce que, en un sistema, el todo puede ser más que las partes, pues las interacciones pueden mejorar el sistema, o puede ser menos que las partes, cuando las interacciones empeoran el sistema. Razón por la cual se han venido incrementando el uso de las técnicas multivariadas donde todos los factores se evalúan de conjunto. La Figura 4 muestra la comparación de todas las muestras utilizando las características medidas en un análisis de coordenadas principales. Las muestras han sido coloreadas, a la izquierda, de acuerdo con el periodo de incubación y, a la derecha, de acuerdo con la dosis de cal. En el mismo se explica el 87,3% de la varianza total.

Figura 4

Análisis de coordenadas principales de muestras obtenidas del suelo del distrito de Ñürim. A la izquierda marcadas por periodo de incubación y a la derecha por dosis de cal.



Como se puede observar se forman dos grupos bien definidos por el periodo de incubación e independientes uno del otro. El grupo con 0 incubación se caracteriza por valores más homogéneos, donde los tratamientos tienen un menor efecto ya que el carbonato de calcio, sin agua, no ha reaccionado en el suelo (CV 31.74%). En el segundo la variación es mayor, debido al efecto del agua sobre todo el sistema (CV 91.59%), incluida la dosis de carbonato de calcio.

(CP1: $t_0 = 1,6558 \pm 0,5259$; $t_{15} = -1,6558 \pm 1,5166$; CP2: $t_0 = 0,8031 \pm 0,9069$; $t_{15} = -0,8031 \pm 2,0749$)

El hecho de no contar con varianza homogénea dentro del conjunto limita el uso de técnicas paramétricas y obliga a trabajar por separado ambas datas, quedando la primera relegada a la caracterización del área de estudio antes de la aplicación de los tratamientos. (tabla 4)

Tabla 4

*Caracterización inicial del suelo del área de estudio antes de la incubación
(Resumen Estadístico para las muestras con tiempo de incubación t₀.)*

	Ph	K	Ca	Mg	Acidez	P	Fe	Cu	Zn	Mn
	Unidades	meq/100g	meq/100g	meq/100g	meq/100g	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Promedio	5,457	0,423	5,932	1,283	1,331	18,020	195,933	2,653	4,473	51,073
Mediana	5,440	0,420	5,830	1,260	1,330	17,700	189,000	2,600	4,500	51,100
Desv Estand	0,063	0,010	0,274	0,078	0,106	0,934	16,016	0,083	0,139	1,470
CV%	1,15%	2,31%	4,61%	6,08%	7,96%	5,19%	8,17%	3,14%	3,10%	2,88%
Mín	5,370	0,410	5,610	1,190	1,200	16,800	180,000	2,500	4,200	47,200
Máx	5,570	0,450	6,740	1,520	1,520	20,000	234,000	2,800	4,700	53,100
Q1	5,400	0,420	5,770	1,250	1,220	17,500	185,000	2,600	4,400	50,500
Q3	5,520	0,420	6,090	1,310	1,400	18,800	202,000	2,700	4,600	52,000

En un análisis factorial de los tratamientos después de 15 días de incubación se logró un 95,2% de explicación de la varianza en 3 ejes:

En la Tabla 5 vemos que el primero, que llamaremos de la acidez, explica el 47% de la varianza y está formado por la dosis de cal, el Ca⁺⁺, la acidez, el pH, el Fe y el P; el segundo explica un 32,6% está formado por el K, el Mg, el P, el Fe y el Cu y el tercero que explica el 15,6% solo lo forman el Zn y el Mn.

Tabla 5

Factor Analysis

Factor Number	Eigenvalue	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	3,7477	47,000	47,00
2	2,5995	32,600	79,60
3	1,2439	15,600	95,20

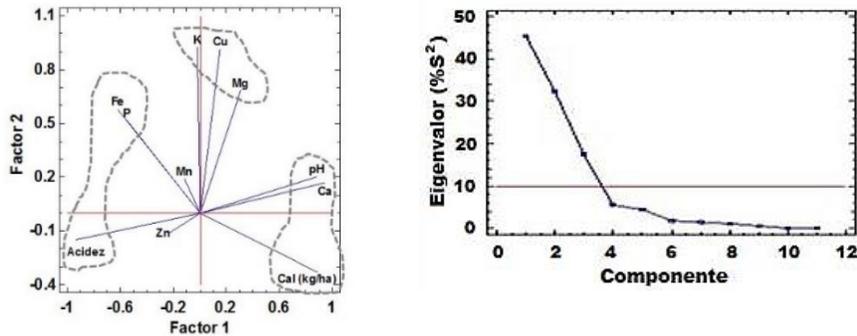
Factor Loading Matrix After Varimax Rotation			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
pH	0,88	0,203	-0,3244
K	-0,022	0,925	0,0385
Ca	0,944	0,171	-0,0688
Mg	0,311	0,686	0,5024
Acidez	-0,93	-0,147	0,0369
P	-0,546	0,515	0,088
Fe	-0,623	0,579	-0,2343
Cu	0,15	0,914	0,0383
Zn	-0,242	-0,116	0,8604
Mn	-0,113	0,191	0,6682
Dosis de cal	0,885	-0,328	-0,3377

En la Figura 5 aparece la gráfica de cargas de las variables donde se aprecia en el primer eje la relación directa que existe entre las dosis de cal, el calcio y el pH (derecha del gráfico) y la acidez,

el hierro y el fosforo (izquierda del gráfico) relacionadas inversamente entre los grupos. En el segundo eje sólo se observa relación directa entre el potasio, el cobre y el magnesio.

Figura 5

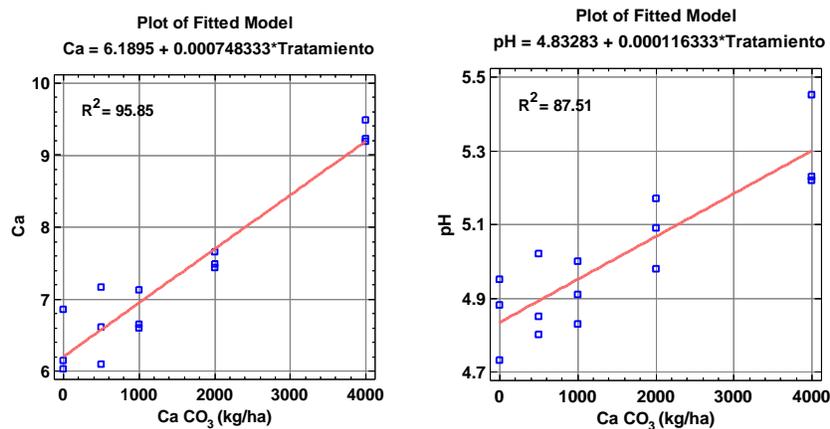
Análisis factorial rotado para lograr el máximo efecto de las dosis de cal sobre las mediciones realizadas en muestras, después de incubadas 15 días, izquierda valores de carga, derecha gráfica de sedimentación y valores de la varianza.



La Figura 6 muestra el efecto que sobre el contenido del calcio cambiante ejerce la dosis de caliza a los 15 días de aplicada manteniendo la humedad al 80% de la capacidad de campo, como se observa es lineal y significativo. Cada tonelada de cal aplicada, en 15 días, incrementa el contenido de Ca⁺⁺ en $\approx 0,7287$ meq. /100 g de suelo, lo que a la vez sube el pH en 0,116 unidades, por lo que asumiendo que el maíz requiere para su normal desarrollo pH superiores a 5,5 (Yara 2023) el suelo estudiado requeriría dosis mayores a 5.6 toneladas de cal por hectárea.

Figura 6

Efecto de la dosis de caliza aplicada al suelo estudiado del distrito de Ñürüm, sobre el contenido de calcio cambiante (izquierda) y el pH en agua (derecha).

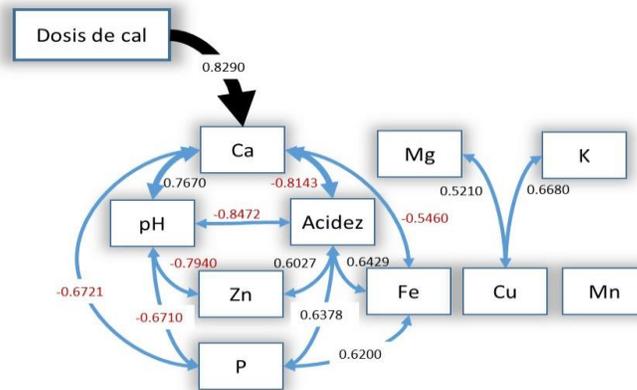


Cuando se aplica carbonato de calcio al suelo los contenidos de calcio intercambiable aumentan y este aumento influye sobre la acidez y, esta a su vez, sobre el resto de los elementos.

La Figura 7 muestra la topología del sistema a partir de los coeficientes de correlación de rango de Spearman, como se aprecia existen tres grupos uno dependiente del calcio que incluye al pH, la acidez, el Zn, el Fe y el P; otro formado por el Cu relacionado con el Mg y el K y el Mn que no guarda relación con nadie.

Figura 7

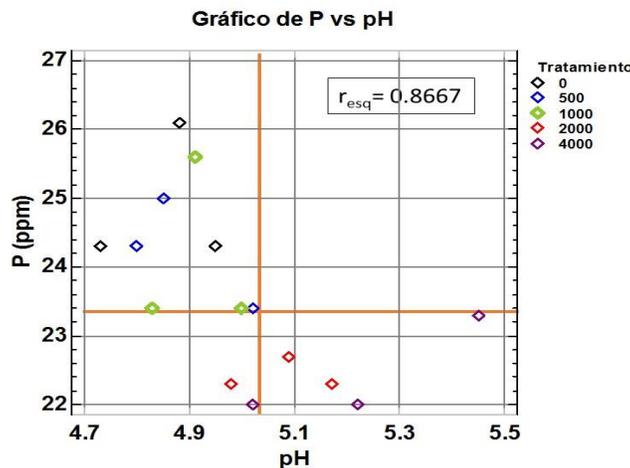
Topología de las relaciones inter variables en el suelo del distrito de Ñürüm, a partir de los coeficientes de correlación de rangos de Spearman.



Es interesante destacar que la dosis de cal influyó positivamente sobre el pH ($r_s=0,7965$, $\alpha=0,0029$) con efectos negativos, como era de esperar sobre el Zn ($r_s=-0,7576$, $\alpha=0,0046$) y el Fe ($r_s=-0,6765$, $\alpha=0,0114$), pero este efecto negativo se manifestó también sobre el fósforo asimilable ($r_{esq}=-0,8667$, $\alpha=0,0080$), que se puede observar en la Figura 8.

Figura 8

Relación entre el pH y el fósforo asimilable en el suelo del distrito de Ñürüm, en correspondencia con las dosis de cal aplicada (Método de la esquina de Olmstead-Tukey).

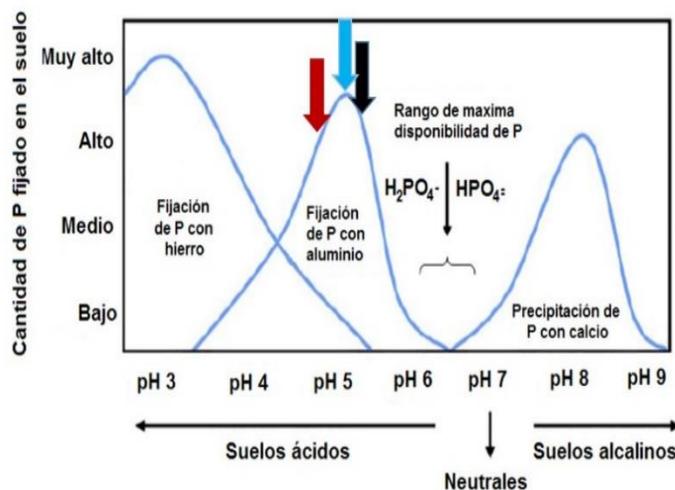


La Figura 9 muestra la dinámica del fósforo inorgánico en el suelo, e ilustra la situación de este caso: con pH inicial de 5.46, marcado en el gráfico con la flecha negra, el suelo está en una condición que cualquier aumento del pH provoca la liberación del fósforo fijado como fosfato de aluminio, sucede que por el efecto de los microorganismos con la incubación el pH bajó a 4.85

(flecha roja) punto que, aunque más ácido, como se aprecia en la Figura 9, la fijación es un poco menor. Cuando se aplica cal, el pH sube hacia la zona de máxima fijación y a los 15 días, con 4 toneladas de cal (dosis máxima aplicada) alcanza un valor de 5.23 (Flecha cian, máxima fijación por aluminio).

Figura 9

Fijación de los fosfatos en función del pH.



Para que el encalado funcione bajo esta condición de pH es necesario subir el pH en un punto a partir de la condición de siembra con riego 4.85 a 5.85, lo cual no se logra con 4 toneladas de carbonato de calcio en 15 días. Según Espinosa y Col (1999) no se debe aplicar cal sino hay humedad en el suelo y una vez aplicada la cal se debe esperar un tiempo prudencial para que reaccione (1 a 2 meses).

Una forma general de resumir todo el trabajo se observa, usando imágenes, en la figura 10, en la misma las muestras son rostros (caras) donde las variables son representadas como diferentes partes de la cara, donde el tamaño es proporcional a la magnitud de la variable; por ejemplo, el Ca^{2+} es representado por el radio superior de la cara, la nariz representa al Mg^{2+} etc. Los datos están organizados en dos grupos, a la izquierda las muestras S1949 correspondientes al tiempo “0” y a la derecha las muestras S200 correspondientes al tiempo “15 días”, las columnas representan las repeticiones y las filas los tratamientos de cal, que aumentan hacia abajo.

Como se observa a simple vista en el grupo de tiempo 0 apenas se aprecian diferencias entre las caras; mientras en el grupo 15 días se observan diferencias entre las caras de cada tratamiento, que además van aumentando de tamaño hacia las dosis mayores, lo que se corresponde primero con el efecto del agua y el tiempo y segundo con el tratamiento de cal.

Esta forma de presentar la información ayuda a resolver la comprensión y la aplicación de los resultados, sobre todo cuando existe bajo nivel cultural de la población rural, como es el caso de Ñürüm, quedando circunscrito el problema a la búsqueda de una visualización exitosa donde el

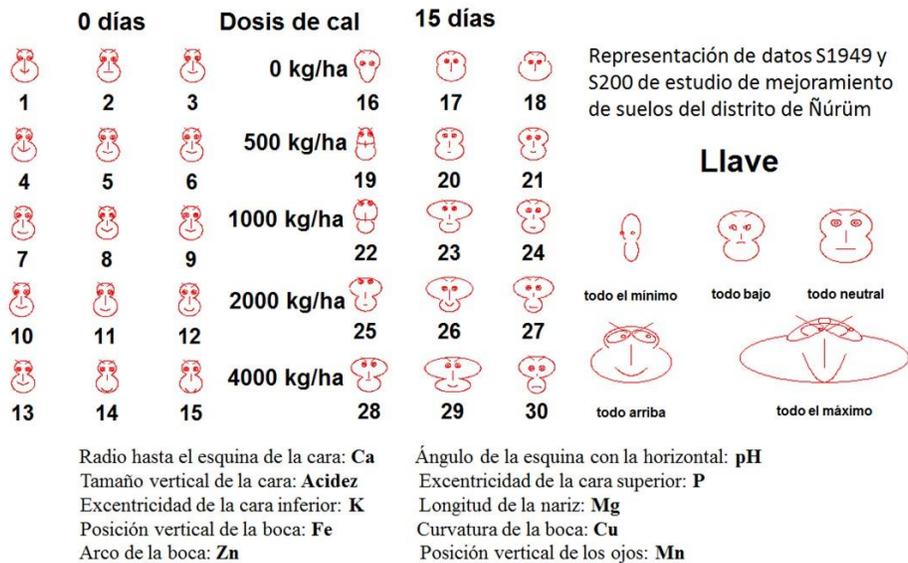
sistema de percepción visual del usuario sea estimulado para entender las relaciones y reconocer los patrones.

Aunque existen otras formas, multivariadas, de presentar la información (gráfica de estrellas, por ejemplo) la idea de usar rostros humanos se basa en que los seres humanos pueden reconocer fácilmente la cara y notar pequeños cambios sin dificultad (Chernoff H., 1973). Las caras de Chernoff son usadas para aprender lo serio y complejo en forma atrayente, partiendo desde la cartografía, ayudando a construir la síntesis experimental desde la visualización temática, como en el estudio de caso que se presenta.

Figura 10

Representación de los resultados obtenidos en el suelo del distrito de Ñürüm, a partir de las caras de Chernoff.

MATRIZ DEL EXPERIMENTO



CONCLUSIONES

- No se alcanzó la capacidad buffer del suelo ya que con las dosis utilizadas el pH no subió una unidad, no obstante, a los 15 días de incubación se observó una relación directa y significativa entre la dosis de cal y el pH.
- Considerando que el maíz necesita un pH superior a 5,5, que el pH de partida es de 4,85 y que el incremento de pH es de 0.000116 unidades de pH por kg de cal aplicada, en el área de estudio sería necesario aplicar más de 5.6 toneladas de cal para obtener los mejores resultados.
- Las dosis de carbonato de calcio aplicadas sólo incrementaron el calcio cambiante y el pH en presencia de humedad.
- El solo hecho de mantener el suelo a humedad de campo por 15 días hace que cambie la composición química y disminuya el pH aproximadamente en 0,5

unidades, debido presumiblemente al aumento de la actividad microbiana y a la liberación de ácido fosfórico a la solución de suelo.

- El rango de pH en que se encuentra este suelo está en la zona de máxima fijación de fósforo por aluminio (pH 5,23), por lo que la forma asimilable de este elemento (P) aumenta, tanto si se sube como si se baja el pH.
- Quince días es un tiempo insuficiente para observar efectos del encalado, por lo que, para la siembra de cultivos de ciclo corto de temporal, donde es necesario aprovechar la humedad residual, es necesario emplear fuentes de mayor actividad, que actúen más rápido como los óxidos o hidróxidos de calcio.

AGRADECIMIENTO

Se reconoce el apoyo al Centro Educativo Básico General de Cerro Pelado del (Ministerio de Educación) por el apoyo brindado, especialmente al Lic. Alberto Bósquez por su apoyo en el mantenimiento del huerto escolar en las parcelas experimentales. Agradecemos también al Dr. Abby Guerra de Grupo CALESA por facilitarnos insumos y capacitarnos en el control biológico de insectos y hongos fitopatógenos en la parcela de maíz, otoo y ñampí.

REFERENCIAS

- Barrow, N.J. & Cox, V.C. 1990. A quick and simple method for determining the titration curve and estimating the lime requirement of soil. *Aust. J. Soil Res.* 28, 685-694.
- Blake, L., Goulding, K.W.T., Mott, C.J.B. & Johnston, A.E. 1999. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodlandygrass at Rothamsted Experimental Station, UK. *Eur. J. Soil Science*, 50:401-412.
- Burle M.L., Mielniczuck A. & Focchi S. 1997. Effect of cropping systems on soils chemical characteristics, with emphasis in soil acidification. *Plant Soil* 190:309-316.
- Califra Sanguinetti A. I., 2012. Alternativa Predictiva de la Saturación en Bases en Suelos Ácidos. Tesis presentada como requisito para obtener el título de Magíster en Ciencias Agrarias Opción Ciencias del Suelo, Universidad de La República Oriental del Uruguay, Facultad de Agronomía, Montevideo 2012.
- Chernoff H., 1973. "The Use of Faces to Represent Points in K-Dimensional Space Graphically", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 68, no. 342, pp. 361-368, June 1973.
- Espinosa J. y Molina E. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Primera edición. International Plant Nutrition Institute. IPNI

- Fernando J. y Ramírez R. 2002. Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Chile. Tesis presentada en opción al grado de Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2002.
- IDIAP 2006. Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes. <http://www.cich.org/Publicaciones/05/idiap-mapas-fertilidad.pdf>
- Limousin G., Tessier D. 2007. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. *Soil & Tillage Research* 92:167-174.
- Millán G., Vázquez, M., Terminiello A., Santos Sbuscio D. 2010. Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana. *Ci. Suelo (Argentina)* 28:131-140.
- Oorts K., Vanlauwe B., Pleysier J., Merckx R. 2004. A new method for the simultaneous measurement of pH-dependent cation exchange capacity and pH buffering capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1578–1585.
- Pellegrini A., Lanfranco J., Millán G., Vázquez M. 2002. Efecto del tratamiento de suelos ácidos sobre el cultivo de alfalfa- XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, Argentina. *Actas*: 58.
- Pellegrini A., Lanfranco J., Millán G., Vázquez M. 2004. Calcio y magnesio en el suelo. Efecto sobre el cultivo de alfalfa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Argentina. *Actas*: 191. ISBN 987-21419-0-8.
- Statpoint Technologies, Inc., 2014. Statgraphics ® Centurion XVII. Manual de Usuario, Impreso en Estados Unidos de América. <https://statgraphics.net/wp-content/uploads/2015/03/Centurion-XVII-Manual-Principal.pdf>
- Tang C. 1998. Factors affecting soil acidification under legumes I. Effect of potassium supply. *Plant Soil* 199:275-282.
- Tran, S. T., and W. Van Lierop. 1982. Lime requirement determination for attaining pH 5.5 and 6.0 of coarse-textured soil buffer-pH methods. *Soil Sci. Am. J.* Vol. 46.
- Van Rensburg H., Claassens A., Beukes D. 2009. Relationships between soil buffer capacity and selected soil properties in a resource-poor farming area in the Mpumalanga Province of South Africa. *South African Journal of Plant and Soil* 26:237- 243.
- Vázquez M., Piro A., Millán G., Lanfranco J. 2003. Corrección de suelos ácidos de la Pampa húmeda para la producción de alfalfa. *Revista de la Asociación Argentina de la Producción Animal* 23(2): 69 – 80. (ISSN 326-0550).

- Vázquez M., Pagani A. 2015. Calcio y Magnesio del suelo. Manejo de fertilización y enmiendas. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. Echeverría H., García F. INTA, Cap. 11: 317-356. 904 p.
- Villarreal José E.; Agudo Leonel; Villalaz Jhon. 2010. Clasificación de suelos de Panamá y su equivalencia. <https://www.researchgate.net/publication/301291244> **CLASIFICACION DE SUELOS DE PANAMA Y SUS EQUIVALENCIAS 2010**
- Woodruff, C.M. 1948. Testing soils for lime requirement by means of a buffered solution and the glass electrode. *Soil Sci.* 66: 53-63.
- Xu R., Zhao A., Yuan J. & Jiang J. 2012. pH buffering capacity of acid soils from tropical and subtropical regions of China as influenced by incorporation of crop straw biochars. *J Soils Sediments* 12:494–502.
- Yara 2023. Suelos y Encalados. Nutrición Vegetal, Maíz. Yara Panamá S de RL 2023. <https://www.yara.com.pa/nutricion-vegetal/maiz/suelos-y-encalado/>
- Yuan T.L. (1974). A double buffer method for the determination of lime requirement of acid soil. *Soil Sci. Soc. Am.J.* 38: 437 – 440.
- Zapata Hernández, R. 2004. Química de la acidez del suelo. Cali, Colombia. ISBN 958- 33-6712-5. 208 p.

COMPARACIÓN DE DIFERENTES PROTOCOLOS DE SINCRONIZACIÓN PARA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL A TIEMPO FIJO EN CERDAS NULÍPARAS: RESULTADOS PRELIMINARES

COMPARISON OF DIFFERENT SYNCHRONIZATION PROTOCOLS FOR FIXED-TIME ARTIFICIAL INSEMINATION IN NULLIPAROUS SOWS: PRELIMINARY RESULTS

*González, Julián. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia, Panamá.
julian06021999@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-1237-8025>

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

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

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

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

*Autor de Correspondencia: julian06021999@gmail.com

DOI <https://doi.org/10.48204/10.48204/j.ia.v6n1.a4520>

Recibido: 05/09/2023

Aceptado: 07/11/2023

RESUMEN. Un total de 15 cerdas nulíparas cruzadas (150 ± 14.6 kg) se asignaron al azar a tres tratamientos: 1) AN: adición de 20 mg de altrenogest (Virbages, progesterona) en la dieta durante 18 días; 2) ANH: similar a AN más 10.5 μ g de GnRH y 500 UI de hCG 24 y 96 horas, respectivamente, luego de la última aplicación de progesterona; y 3) PL: seis inyecciones intramusculares de 600 mg de progesterona con intervalos de 72 horas, más 10.5 μ g de GnRH y 500 UI de hCG 48 y 120 horas, respectivamente, luego de la última inyección de progesterona. Se realizaron dos IATF, una a las 26 horas y otra a las 40 horas después de la aplicación de hCG. A pesar de que no se evidenció diferencias significativas en la tasa de preñez ($p > 0.05$), las cerdas sincronizadas con AN tuvieron, numéricamente, una tasa de preñez de 20% mayor en comparación a los demás tratamientos. Se obtuvo una reducción en el inicio del estro en las cerdas sincronizadas con el tratamiento ANH y PL en comparación con las cerdas del grupo AN ($p < 0.05$). Los tratamientos AN y ANH fueron de mayor costo por \$20.65 y \$21.93 que el tratamiento PL. En conclusión, la aplicación del protocolo PL tuvo similar tasa de preñez y similar intervalo de inicio del estro que el grupo ANH, como también un menor costo de aplicación por cerda.

PALABRAS CLAVE: Hormonas, altrenogest, proluten, semen.

ABSTRACT. A total of 15 gilts (150 ± 14.6 kg) were randomly assigned to three treatments: 1) AN: addition of 20 mg altrenogest (Virbages, progesterone) to the diet for 18 days; 2) ANH: similar to AN plus 10.5 μ g of GnRH and 500 IU of hCG 24 and 96 hours, respectively, after the last application of progesterone; and 3) PL: six intramuscular injections of 600 mg progesterone (Proluten) at 72-hour intervals plus 10.5 μ g of GnRH and 500 IU hCG 48 and 120 hours, respectively, after the last progesterone injection. Two IATFs were performed, one at 26 hours and another at 40 hours after hCG application. Although no significant differences were evident in the pregnancy rate ($p > 0.05$), the sows synchronized with AN had, numerically, a 20% higher pregnancy rate compared to the other treatments. A reduction in the onset of estrus was obtained in the synchronized sows with ANH and PL compared to those synchronized with AN ($p < 0.05$). The PL treatment was \$20.65 and \$21.93 cheaper than the AN and ANH treatments, respectively. In conclusion, the application of the PL protocol had a similar pregnancy rate and onset of heat than the ANH group, as well as a lower application cost per sow.

KEYWORDS: Hormones, altrenogest, proluten, semen.



INTRODUCCIÓN

La detección cuidadosa del celo es esencial en una explotación porcina para minimizar el número de días no productivos y el intervalo entre el destete y la inseminación. Fallas en la precisión de la detección del celo conlleva al incremento de 21 días no productivos (Pereira et al., 2018; See, 2006). El uso de hormonas ha sido una valiosa herramienta implementada para ayudar a disminuir los días abiertos, lo que ayuda a homogenizar grupos de hembras, obteniendo inseminaciones, partos y destetes concentrados en periodos establecidos, y así facilitando las rutinas de manejo de la granja (Kouamo, 2013; Pereira et al., 2018).

Hormonas tales como la gonadotropina coriónica humana (hCG) ha sido ampliamente utilizada para inducir ovulación en protocolos para inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en cerdas luego del destete (Kirkwood Y Kauffold, 2015; Ulguim et al., 2016). Adicionalmente, altrenogest, un sintético de progesterona ha demostrado beneficios en la supresión del desarrollo folicular, ayudando a la sincronización del ciclo estral en grupos de cerdas nulíparas (Fernández et al., 2005; Wang et al., 2018), permitiendo así la aparición del estro entre 4-9 días luego del retiro de la dieta.

A pesar de que altrenogest ha demostrado ejercer un efecto positivo en la sincronización del celo en cerdas nulíparas, la utilización de esta herramienta no es totalmente económica, lo que limita su aplicación por pequeños productores porcinos. Además, el rango amplio de aparición del celo luego del retiro de altrenogest (4-9 días), demanda mano de obra para la detección de celo durante varios días. Es por esto que algunos investigadores han planteado el uso de altrenogest en conjunto con otras hormonas que permiten no solo sincronizar el ciclo estral, sino también la ovulación con la consiguiente IATF (De Rensis y Kirkwood, 2016). Sin embargo, el alto costo del altrenogest sigue siendo una problemática que requiere o demanda el uso de otros análogos de progesterona.

Conociendo la alta eficacia que han demostrado los protocolos a base de progesterona para la sincronización del estro en cerdas nulíparas, se hace necesario la evaluación de sintéticos de progesteronas más económicos en conjunto con hormonas que ayuden la sincronización de la ovulación, permitiendo la realización de IATF, reduciendo las dosis seminales a utilizar, como también evitando la necesidad de una alta demanda de mano de obra en detección de celo por personal de la granja.

A pesar de que existen evidencias del uso de progesteronas incluidas en la alimentación o via oral, como lo es la altrenogest; la aplicación de otros sintéticos de progesteronas de manera inyectable podría ser una herramienta económicamente más accesible a productores, y podría ejercer efectos similares en una adecuada sincronización del estro. Adicionalmente, la combinación de análogos de progesterona en conjunto con otras hormonas para la sincronización de la ovulación podría evidenciar una adecuada sincronización y aplicación de IATF.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un total de 15 cerdas nulíparas cruzadas (♀ Landrace x Yorkshire X ♂ Landrace), con un peso promedio de 150 ± 14.6 kg, fueron alojadas en corrales individuales en una instalación de gestación

convencional, ubicada en el centro de investigación agropecuario de Chiriquí, Panamá, (CEIACHI). Las cerdas tuvieron acceso a agua durante todo el periodo experimental y las jaulas de gestación contaban con comederos individuales. Se ofreció 2.5 kg de alimento concentrado por cerda/día, el cual fue formulado para suplir los requerimientos nutricionales descritos según la NRC, (2012).

Las cerdas fueron aleatoriamente asignadas a tres tratamientos con cinco cerdas por tratamiento. Los tratamientos fueron: 1) AN: adición de 20 mg de altrenogest (Virbages, progesterona) en la dieta durante 18 días; 2) ANH: similar a AN más 10.5 µg de GnRH (Butrofina, Weizur, Argentina) y 500 UI de hCG (Veterin corion, DFV, España) 24 y 96 horas, respectivamente, luego de la última aplicación de progesterona; y 3) PL: seis inyecciones intramusculares de 600 mg de progesterona (Proluten, Livisto, Panamá) con intervalos de 72 horas, más la aplicación inyectable de 10.5 µg de GnRH (Butrofina, Weizur, Argentina) y 500 UI de hCG (Veterin corion, DFV, España) 48 y 120 horas, respectivamente, luego de la última inyección de progesterona (Tabla 1). Se realizó la IATF 26 horas después de la aplicación de hCG, y una segunda IA, 14 horas posterior a la primera IA.

Tabla 1
Esquema de protocolos hormonales evaluados.

Tratamientos	Días																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
AN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
ANH	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		GnRH		hCG
PL	*			*			*			*			*			*		GnRH			hCG	

AN: Suministro de 20 mg de progesterona sobre el alimento de la cerda cada mañana por 18 días.

ANH: Suministro de 20 mg progesterona sobre el alimento de la cerda cada mañana por 18 días, más la aplicación de GnRH y hCG.

PL: Suministro de 600 mg de progesterona inyectable vía intramuscular cada 72 horas, más la aplicación de GnRH y hCG.

*: Días de aplicación de la respectiva fuente de progesterona.

Se determinó el intervalo de inicio del estro (horas) desde la última aplicación hormonal de cada protocolo hasta la aparición de signos de celo. Adicionalmente, se determinó el costo de cada protocolo por cerda.

Para la IATF, se utilizó semen fresco con viabilidad espermática comprobada de un verraco de la raza Pietrain. Las dosis seminales contenían 3 X 10⁹ de espermatozoides. El semen fue colectado cuatro horas antes de la inseminación y se utilizó un diluyente (MR-A, Kubus, España) para obtener dosis d semen con un volumen de 100 mL. 30 días posterior a la última inseminación, se realizó la evaluación de preñez con la ayuda de un ecógrafo (Minitube, AL, Alemania).

Todos los datos se ingresaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel® 2021 para su procesamiento. Para el caso de la variable indicadora de preñez en las cerdas tratadas, se ajustó un análisis de regresión logística, con función de enlace logit, y cuyo predictor lineal se estableció de la siguiente forma, mediante un modelo de regresión agrupada:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_1 X_1 + e_{ij}$$

Donde y_{ij} fue la variable de respuesta de gestación del i -ésimo tratamiento y la j -repetición, μ fue la media general, α_i fue el efecto del i -ésimo tratamiento de IATF, β_1 fue el coeficiente de la tasa de incremento del peso corporal (kg), X_1 fue la variable aleatoria de la covariable correspondiente a peso corporal (kg) y e_{ij} fue el error aleatorio del i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición.

Por otra parte, para la variable inicio de celo post-tratamiento (horas), se realizó un análisis de covarianza a un modelo de efectos fijos con el factor tratamientos de IATF y la covariable peso corporal (kg), cuyo modelo estadístico fue de la forma:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_1 X_1 + e_{ij}$$

Donde y_{ij} fue la variable de respuesta correspondiente al tiempo de inicio de celo post-tratamiento (hrs.) del i -ésimo tratamiento y la j -repetición, μ fue la media general, α_i fue el efecto del i -ésimo tratamiento de IATF, β_1 fue el coeficiente de la tasa de incremento del peso corporal (kg), X_1 fue la variable aleatoria de la covariable correspondiente a peso corporal (kg) y e_{ij} fue el error aleatorio del i -ésimo tratamiento y la j -ésima repetición.

Para ambos modelos, el supuesto de normalidad de residuales se realizó mediante la prueba de Shapiro-Wilks ($p < 0.05$) y el supuesto de homocedasticidad mediante la prueba de Levene ($p < 0.05$). Se comprobó las significancias de los efectos del factor tratamiento y la covariable peso vivo (kg.) mediante un Análisis de Varianza ($p < 0.05$), y la prueba de diferencias de medias de tratamientos de IATF aplicados se realizó mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Todos estos procedimientos estadísticos se efectuaron en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 2

Desempeño de las cerdas bajo experimentación y costos de aplicación/cerda de los protocolos de sincronización evaluados.

	Tratamientos			p-valor
	AN	ANH	PL	
Costo de protocolo/ cerda, \$	28.00	29.28	7.35	-
No. cerdas Preñadas	4	3	3	-
No. cerdas vacías	1	2	2	-
Peso promedio de cerdas, kg.	166.47 ± 9.07	146.07 ± 14.97	145.60 ± 14.90	-
Inicio de celo post protocolo, hr.	55.2 ^a ± 15	35.6 ^b ± 10	38 ^{ab} ± 16	0.034*
Tasa de preñez, %	80 ^a	60 ^a	60 ^a	0.729

*Cantidad de horas luego de la aplicación de la última hormona del protocolo. Medias en la misma fila con letras minúsculas iguales son equivalentes entre tratamientos de IATF ($p < 0.05$).

El uso de hormonas exógenas facilita la sincronización de grupos de cerdas primerizas, lo que reduce el trabajo de detección del celo y la obtención de partos y lotes homogéneos al destete (Gama et al., 2005; Kraeling y Webel, 2015). En este estudio, el suministro de 20 mg de progesterona (tratamiento AN) a través de la alimentación por 18 días mostró el mayor número de preñeces entre los tratamientos evaluados (Tabla 2). Resultados similares fueron obtenidos por Thitachot et al. (2021), con una tasa de preñez aproximadamente de 80% bajo una suplementación de 20 mg de altrenogest por 18 días consecutivos. Otros estudios con una longitud de aplicación consecutiva por 14 o 18 días realizados por Wood et al. (1992) y Estienne et al. (2001), respectivamente, mostraron tasas de preñeces de 90%, siendo superiores a las nuestras con un suministro de tan solo de 15 mg de altrenogest por día. A pesar de que, estadísticamente, no se encuentra diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$), es notable que las cerdas tratadas con hormonas adicionales a la fuente de progesterona mostraron una reducción porcentual de 20% en comparación a aquellas cerdas que fueron tratadas con progesterona.

Es importante mencionar que el peso corporal de las cerdas fue utilizado como covariable de la tasa de preñez, la cual no mostró significancia estadística ($p > 0.05$) con respecto a su influencia sobre la tasa de preñez, mostrando una disminución de la probabilidad de quedar preñada (analizada por la función logit) cuando aumenta el peso de las cerdas, representada por un coeficiente de -0.1368 cuando hubo un incremento de 1 kg de peso.

En cuanto al inicio de celo post finalización del protocolo hormonal, se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), donde las cerdas sincronizadas con altrenogest por 18 días mostraron signos de celo a un tiempo mayor (55.2 ± 15 horas) luego de finalizado el protocolo. Contrariamente, las cerdas sincronizadas con los tratamientos ANH y PL mostraron signos de celo con solo 35.6 ± 10 y 38 ± 16 horas, respetivamente, sin evidenciar diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). En cuanto a esta variable, el covariable peso corporal (kg) no ejerció de manera significativa ($p > 0.05$) un efecto sobre el inicio del celo post-tratamiento, al estimar un aumento del cambio lineal de 0.3222 horas a medida de un incremento de kilogramo de peso corporal. El tratamiento con altrenogest ofreció las condiciones de sincronizar los períodos de estro de las cerdas.

La utilización de hormonas exógenas como la GnRH y la hCG actúan al nivel pituitario para inducir la ovulación (Kirkwood *et al.*, 1984). Adicionalmente, la utilización de hCG ha demostrado ser altamente eficiente en acortar el tiempo de la ovulación a un rango entre 39-49 horas en un 90% del total de las cerdas (Soede *et al.*, 1993). Dichos resultados obtenidos por Soede *et al.* (1993) concuerdan en gran medida con lo obtenido en este estudio, donde las cerdas bajo tratamientos con hCG mostraron reducciones en el tiempo de inicio del celo en comparación aquellas sincronizadas sin hCG, lo que favorece a la aplicación de IATF y también facilita las labores de manejo, con una menor necesidad de mano de obra diaria en la revisión constante de signos de celo en el plantel de hembras reproductoras. A pesar de que los estudios indican una mayor tasa de preñez cuando solamente se aplican protocolos de sincronización del estro a base de un solo fármaco, como altrenogest, esto conlleva una elevada mano de obra para detección de celo, ya que la repuesta en la aparición del estro es muy variable, por lo tanto, reduciendo la aplicación IATF (Kirkwood y Kauffold, 2015).

A pesar de que la utilización del altrenogest ha evidenciado ser el análogo de progesterona más eficaz para la sincronización del celo en cerdas, su uso es limitado por pequeños productores debido a su costo (tabla 2). El costo del protocolo por cerda con altrenogest establecido en los tratamientos AN y ANH fueron de \$ 28.00 y \$ 29.28, respectivamente. Sin embargo, el costo de aplicación del protocolo PL fue de tan solo \$ 7.35 por cerda. El tratamiento PL, cual tuvo el menor costo de aplicación, mostró tener la misma tasa de preñez que aquellas cerdas sincronizadas con ANH.

CONCLUSIÓN

El uso de altrenogest mostró la mayor tasa de preñez, pero con un mayor lapso en la aparición del celo; mientras que la utilización de GnRH y hCG redujeron el inicio del celo en cerdas. Adicionalmente, el uso de altrenogest podría ser reemplazado por la aplicación de aplicaciones inyectables de progesterona, siendo así un protocolo económicamente más rentable.

Este estudio establece las bases preliminares de posibles sustitutos de los protocolos convencionales a base de progesterona vía oral. Sin embargo, es necesario realizar investigaciones futuras para determinar si la modificación del protocolo incluyendo eCG podría ejercer mejoras en la tasa de preñez una vez sea utilizado en conjunto con hCG. Adicionalmente, es importante realizar evaluaciones de los protocolos con un mayor número de unidades experimentales, buscando así un mayor poder estadístico y ratificación de la efectividad de los protocolos preliminarmente evaluados en este estudio.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a todos los colaboradores del Proyecto Porcino de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por el apoyo brindado durante la fase experimental de este estudio.

REFERENCIAS

- De Rensis, F., y Kirkwood, R. N. (2016). Control of estrus and ovulation: Fertility to timed insemination of gilts and sows. *Theriogenology*, 86(6), 1460–1466. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.089>
- Estienne, M. J., Harper, A. F., Horsley, B. R., Estienne, C. E. y Knight, J. W. (2001). Effects of P.G. 600 on the onset of estrus and ovulation rate in gilts treated with Regu-mate. *Journal of Animal Science*, 79(11), 2757–2761. <https://doi.org/10.2527/2001.79112757x>
- Fernández, L., Díez, C., Ordóñez, J. M. y Carbajo, M. (2005). Reproductive performance in primiparous sows after postweaning treatment with a progestagen. *Journal of Swine Health and Production*, 13(1), 28–30.

- Gama, R. D., Vianna, W. L., Pinese, M. E., De Campos Rosseto, A. y De Sant'Anna Moretti, A. (2005). Different doses of porcine luteinizing hormone in precocious puberty induction in gilts. *Reproduction in Domestic Animals*, 40(5), 433–435. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2005.00605.x>
- Kirkwood, R., Lapwood, K., Smith, W. y Anderson I.(1984). Plasma concentrations of 442 LH, prolactin, oestradiol-17 beta and progesterone in sows weaned after lactation for 443 10 or 35 days. *J Reprod Fertil*, 70, 95-102.
- Kirkwood, R. N. y Kauffold, J. (2015). Advances in Breeding Management and Use of Ovulation Induction for Fixed-time AI. *Reproduction in Domestic Animals = Zuchthygiene*, 50, 85–89. <https://doi.org/10.1111/rda.12524>
- Kouamo, J. y Kamga-Waladjo, A.R. (2013). State-of-art in Estrus Synchronization in Pigs. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, 11(3), 155-159.
- Kraeling, R.R. y Webel, S.K. (2015). Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America. *J Animal Sci Biotechnol*, 6(3). <https://doi.org/10.1186/2049-1891-6-3>
- NRC. *Nutrient Requirements of Swine*. (2012).11th Editi. National Academy Press, editor. Washington, DC, USA.
- Pereira, C., da Silva, B. y Bourg, N.R. (2018). Induction of puberty and synchronization of estrus in gilts with eCG and GnRH. *Brazilian Journal of Animal science*, 47, Article e20170342, <https://doi.org/10.1590/rbz4720170342>
- R Core Team. (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.Availble in: <https://www.R-project.org/>.
- See, T. (2006). Obtaining Optimal Reproductive Efficiency. *The Pig Site*, 1–11. available in: <https://www.thepigsite.com/articles/obtaining-optimal-reproductive-efficiency>
- Soede, N. y Kemp, B. (1993). In synchronized pigs, the duration of ovulation is not affected 458 by insemination and is not a determinant for early embryonic survival. *Theriogenology*, 39(5), 1043-1053. [https://doi.org/10.1016/0093-691x\(93\)90005-p](https://doi.org/10.1016/0093-691x(93)90005-p)
- Thitachot, K., Sirinopwong, V., Seemuang, V., Ratchatasriprasert, A., Kirkwood, R. N. y Am-In, N. (2021). Influence of backfat thickness and the interval from altrenogest withdrawal to estrus on reproductive performance of gilts. *Animals*, 11(5), 10–15. doi.org/10.3390/ani11051348
- Ulguim, R. R., Fontana, D. L., Bernardi, M. L., Wentz, I. y Bortolozzo, F. P. (2016). Single fixed-time artificial insemination in gilts and weaned sows using pLH at estrus onset administered through vulvar submucosal route. *Theriogenology*, 86(4), 1072–1080. doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.039

Wang, Z., Liu, B. S., Wang, X. Y., Wei, Q. H., Tian, H. y Wang, L. Q. (2018). Effects of altrenogest on reproductive performance of gilts and sows: A meta-analysis. *Animal Reproduction Science*, 197, 10–21. doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.08.035

Wood, C. M., Kornegay, E. T. y Shipley, C. F. (1992). Efficacy of altrenogest in synchronizing estrus in two swine breeding programs and effects on subsequent reproductive performance of sows. *Journal of Animal Science*, 70(5), 1357–1364. doi.org/10.2527/1992.7051357x