

REVISTA

ISSN L 2644-3856

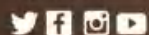
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ | FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Vol. 7 No. 1 Diciembre 2024 - Mayo 2025

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 7, N° 1
DICIEMBRE 2024 - MAYO 2025

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 7, Número 1
Diciembre 2024 - Mayo 2025

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. Reynaldo Vargas, Editor de la Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA), Universidad de Panamá. Panamá. E-mail: revistaia_fca@up.ac.pa Tel.: 523-3912

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ



Dr. Eduardo Flores Castro
RECTOR

Dr. Jaime Javier Gutiérrez
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO

Dr. José Emilio Moreno
VICERRECTOR ACADÉMICO

Mgter. Arnold Muñoz
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Mgter. Mayanín Rodríguez
VICERRECTOR DE ASUNTOS ESTUDIANTILES

Prof. Ricardo Him
VICERRECTOR DE EXTENSIÓN

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

Mgter. Ricardo A. Parker D.
SECRETARIA GENERAL

Mgter Eldis Barnes Molinar
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

COMITÉ EDITORIAL

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

DIRECTOR DE LA REVISTA

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

 reinaldo.dearmas@up.ac.pa

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

EDITOR DE LA REVISTA

Ing. Agr. Reynaldo 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>

JEFE DE EDICIÓN

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

 carmen.rovira@up.ac.pa

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

CONSEJO CIENTÍFICO EDITORIAL

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

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

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

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

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

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

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

EDITORES TEMÁTICOS

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

 alex.morenom@up.ac.pa

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

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

 reggie.guerra@up.ac.pa

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

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

 enriqueasg@hotmail.com

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

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

 zulay.suira@up.ac.pa

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

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

 fernando.galvez@up.ac.pa

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

Ing. Agr. Luz I. Loría 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 C., MSc. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Suelos y Agua. Panamá.

 carolina.guerra@hotmail.com

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

EQUIPO TÉCNICO

MARCACIÓN Y MAQUETACIÓN

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

 carmen.rovira@up.ac.pa

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

DISEÑO DE PORTADA

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

 noris.miranda@up.ac.pa

EDITORIAL

En un mundo donde la seguridad alimentaria enfrenta desafíos sin precedentes debido al cambio climático, el crecimiento poblacional y la degradación de los recursos naturales, las ciencias agropecuarias se posicionan como un pilar fundamental para garantizar un futuro sostenible.

Este sector, que combina tradición e innovación, tiene el potencial no solo de alimentar al planeta, sino también de regenerar ecosistemas, fortalecer economías rurales y promover el bienestar social.

De esta forma, es un honor presentar a la comunidad científica el Volumen 7, Número 1 de la Revista Investigaciones Agropecuarias, editada por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá, correspondiente al período comprendido entre diciembre de 2024 a mayo 2025.

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

Esperamos que los trabajos presentados en esta edición inspiren nuevas ideas, proyectos y colaboraciones. El compromiso de investigadores, productores y responsables de políticas será clave para construir sistemas agropecuarios resilientes que beneficien tanto a las generaciones presentes como a las futuras.

REYNALDO VARGAS, PhD

EDITOR

REVISTA INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INDICE

SECCIONES EN ESTE NÚMERO

Págs.

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

<p>EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN COMPLEMENTARIA (PAPILLA O PELETIZADO) DURANTE LA LACTANCIA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE LECHONES: RESULTADOS PRELIMINARES</p> <p>EFFECT OF COMPLEMENTARY SUPPLEMENTATION (PORRIDGE OR PELLET) ON PERFORMANCE OF PIGLETS: PRELIMINARY RESULTS</p> <p><i>Javier Quintero y Richard Mudarra</i></p>	11 - 17
<p>EFFECTO DE LA INTERACCIÓN SOCIAL EN LA PRODUCTIVIDAD DE TILAPIA DEL NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>)</p> <p>EFFECT OF SOCIAL INTERACTION ON THE PRODUCTIVITY OF NILE TILAPIA (<i>Oreochromis niloticus</i>)</p> <p><i>Reynaldo Vargas, Joseph Grajales-Cedeño, Alex Ríos-Moreno, Reggie Guerra, Richard Mudarra e Ivonne Guerra</i></p>	18 - 32
<p>FACTORES AMBIENTALES Y SU INFLUENCIA EN EL PESO AL NACIMIENTO Y DESTETE DE BOVINOS CHAROLAIS</p> <p>ENVIRONMENTAL FACTORS AND THEIR INFLUENCE ON BIRTH WEIGHT AND WEANING WEIGHT OF CHAROLAIS CATTLE</p> <p><i>José Miranda, Alice Samudio, Héctor Cedeño, Reynaldo Vargas y Reggie Guerra</i></p>	33 - 44
<p>FACTORES NO GENÉTICOS Y HEREDABILIDAD DEL PESO AL DESTETE DE OVINOS PELIBUEY EN CUBA</p> <p>NON-GENETIC FACTORS AND HEREDABILITY OF WEANING WEIGHT OF PELIBUEY SHEEP IN CUBA</p> <p><i>Manuel Rodríguez Castro y Marco Suárez Tonco</i></p>	45 - 54
<p>EFFECTO DE LA OFERTA DE LECHE EN ORDEN CRECIENTE/DECRECIENTE SOBRE EL CRECIMIENTO DE TERNERAS JERSEY</p> <p>EFFECT OF MILK SUPPLY IN INCREASING/DECREASING ORDER ON THE GROWTH OF JERSEY CALF</p> <p><i>Fiorella Rodríguez, Miguel Castillo, Andrés Alpízar y Joseph Grajales</i></p>	55 - 74
<p>PATOGENICIDAD DE NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS SOBRE LARVAS DE <i>Agrotis</i> sp. (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)</p> <p>PATHOGENICITY OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES ON LARVAE OF <i>Agrotis</i> sp. (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)</p> <p><i>Joseph Yangüéz, Javier Pitti, Reynaldo Vargas, Merly Bado, Ivonne Guerra, Oscar Martínez y Alex Ríos-Moreno</i></p>	75 - 87

<p>IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA BIOFLOC EN EL RECICLAJE DE NUTRIENTES, EL BIENESTAR ANIMAL Y LA SOSTENIBILIDAD DEL ECOSISTEMA</p> <p>IMPACT OF BIOFLOC TECHNOLOGY ON NUTRIENT RECYCLING, ANIMAL WELFARE AND ECOSYSTEM SUSTAINABILITY</p> <p><i>Merly Bado, Javier Carneiro e Ivonne Guerra</i></p>	88 - 98
<p>IMPACTO DEL MANEJO ANTE MORTEM EN LA INCIDENCIA DE CORTES OSCUROS Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE BOVINA</p> <p>IMPACT OF ANTE MORTEM MANAGEMENT ON THE INCIDENCE OF DARK CUTS AND ITS EFFECT ON BEEF QUALITY</p> <p><i>Pacífico Bonilla, Pedro Guerra, Audino Melgar y Carlos Solís</i></p>	99 - 108
<p>SOBRE LA REVISTA</p>	109- 113



EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN COMPLEMENTARIA (PAPILLA O PELETIZADO) DURANTE LA LACTANCIA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE LECHONES: RESULTADOS PRELIMINARES

EFFECT OF COMPLEMENTARY SUPPLEMENTATION (PORRIDGE OR PELLET) ON PERFORMANCE OF PIGLETS: PRELIMINARY RESULTS

Quintero, Javier. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

javier.quintero@up.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0004-1148-1898>

*Mudarra, Richard. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

richard.mudarra@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-4927-1202>

*Autor de Correspondencia: richard.mudarra@up.ac.pa

Recibido: 15/02/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6539>

RESUMEN. Este estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de dos tipos de alimentos, papilla versus peletizado, sobre la respuesta productiva de las camadas y su efecto indirecto sobre las cerdas. Se utilizaron las camadas de 30 cerdas, durante 21 días posterior al nacimiento. Se evaluaron los siguientes tratamientos: TC) lechones alimentados solamente con la leche materna; PT) similar a TC más alimento peletizado; y PP) similar a TC más alimento en forma de papilla. El peletizado y la papilla se ofrecieron del día 5 al día 21 de lactancia, evaluándose dos fases experimentales: fase 1 (F1): d5-13; y fase 2 (F2): d14-21. Al inicio y al final de cada fase se registró el consumo de alimento (CA) y la ganancia de peso (GP) en los lechones. Adicionalmente, se determinó el CA y la grasa dorsal (GD) en las cerdas referentes a cada tratamiento. Las camadas alimentadas con PP tuvieron un mayor CA que las camadas suplementadas con PT en la F1 y F2 ($P < 0.05$). Adicionalmente, las camadas suplementadas con PP tuvieron una mayor GP en la F2 que las camadas de los tratamientos TC y PT ($P < 0.05$). No hubo diferencias significativas entre tratamientos en el CA y GD de las cerdas ($P > 0.05$). La suplementación complementaria en forma de papilla mejoró la ganancia de peso de las camadas durante la lactancia, sin ejercer un efecto indirecto sobre la reserva de grasa dorsal y consumo de alimento de las cerdas.

PALABRAS CLAVE: condición corporal, digestibilidad, grasa dorsal, pre-iniciador.

ABSTRACT. This study aimed to compare the effect of two types of feed, gruel versus pelleted, on the productive response of litters and their indirect effect on sows. Litters of 30 sows were used for 21 days after birth. The following treatments were evaluated: TC) piglets fed only with mother's milk; PT) similar to TC plus pelleted feed; and PP) similar to TC plus porridged feed. The pellet and porridge were offered to litters from day 5 to day 21 of lactation, evaluating two experimental phases: phase 1 (F1): d5-13; and phase 2 (F2): d14-21. At the beginning and at the end of each phase, the feed consumption (CA) and weight gain (GP) in the piglets were recorded. Additionally, the CA and back fat (GD) were determined in sows. The litters fed with PP had a higher CA than the litters supplemented with PT in F1 and F2 ($P < 0.05$). Additionally, the litters supplemented with PP had a higher GP in F2 than the litters of the TC and PT treatments ($P < 0.05$). There were no significant differences between treatments in the AC and GD of the sows ($P > 0.05$). The supplementation of a supplementary supplementation in the form of porridge improved the weight gain of the litters during lactation, without exerting an indirect effect on the reserve of back fat and feed intake of sow feed.

KEYWORDS: backfat, body condition, digestibility, pre-starter.



INTRODUCCIÓN

La nutrición enteral (calostro y leche) juega un papel fundamental en la madurez de lechón (Buddington et al., 2012). Sin embargo, la leche pronto deja de cubrir la demanda nutricional del mismo y este comienza un paulatino consumo de otros alimentos permitiendo la madurez gradual de los sistemas nervioso, inmune y digestivo (Maradiaga et al., 2014). Aunado a esto, la eficiencia en la producción de leche por parte de las cerdas se ve drásticamente afectada por el estrés calórico, limitando con esto el consumo de nutrientes críticos como la energía y los aminoácidos, además de tener un gasto mayor de energía para disipar calor (Lucy y Safranski, 2017; He et al., 2019), generando repercusiones productivas y de desempeño sobre las cerdas durante la lactancia (Cruz y Córdoba, 2011).

El suministro de una alimentación sólida durante la lactancia genera condiciones de adaptación al consumo de alimento de origen vegetal, disminuyendo el estrés al destete, y a su vez, estimulando la madurez y capacidad enzimática del tracto gastrointestinal (Pluske et al., 2003). Adecuaciones progresivas del tracto gastrointestinal a la utilización de dietas de origen vegetal son de suma importancia ya que posterior al destete, los cerdos sufren disfunciones intestinales y del sistema inmunológico que resultan en una reducción de la salud, aumenta la susceptibilidad a sufrir enfermedades, pérdida de peso y deshidratación (Campbell et al., 2013; Cooper et al., 2014).

No obstante, en el mercado se encuentran alimentos con diferentes texturas, ya sean en papillas o pelletizado. Con base a lo mencionado anteriormente, se justifica la realización de este estudio donde se evaluó el efecto de diferentes tipos de suplementación complementaria durante la lactancia y su efecto sobre el desempeño productivo de las camadas y su efecto indirecto en el desempeño de las cerdas.

METODOLOGÍA

La fase experimental se llevó a cabo en una finca comercial de producción porcina con una instalación convencional abierta, ubicada en la provincia de Chiriquí, Panamá. Se utilizaron 30 camadas provenientes de cerdas multíparas (2do hasta 5to parto). Al momento del parto, las camadas se unificaron a 10 lechones cada una. Se evaluaron tres tratamientos dietéticos con diez repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron: TC) donde los lechones tuvieron como dieta única la leche materna, PT) similar a TC, más la suplementación de alimento pelletizado, y PP) similar a TC más la suplementación de alimento en forma de papilla (Tabla 1).

En todos los tratamientos se garantizó en consumo a voluntad, se utilizó el mismo protocolo de manejo (corte, desinfección de ombligo, uso de polvo secante antimicrobiano, corte de colmillo al día uno de vida, castración y aplicación de 200 mg de hierro dextrano al día tres de vida).

Tabla 1*Perfil nutricional del alimento pre iniciador paletizado y papilla.*

%	Alimento suministrado	
	Paletizado (PT)	Papilla (PP)
Proteína cruda	20.00	16.1
Humedad	10.00	10.0
Grasa	6.0	1.50
Fibra	3.0	10.0
Cenizas	7.0	4.7

Los tratamientos fueron ofrecidos del día 5 al 21 de la lactancia, periodo que fue dividido en dos fases: fase 1 (F1) del día 5 al 13 de lactancia, y fase 2 (F2) del día 14 al 21 de lactancia.

Se registró el consumo de alimento diario y el peso al inicio del estudio y al final de cada fase. Dichos pesos fueron utilizados para determinar la ganancia de peso (GP) por fase.

Se llevó registro del consumo de alimento de las cerdas diariamente durante la lactancia. También, se midió la grasa dorsal (GD) a los 112 días de gestación, y en los días 5, 13 y 21 de la lactancia para determinar la acumulación de grasa dorsal (mm) de las cerdas. Para la medición de grasa dorsal se realizó última costilla de la cerda a nivel del dorso, con la ayuda del medidor de grasa dorsal (Renco lean-meter digital backfat indicator).

Todos los datos se ingresaron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel® 2021 para su procesamiento. Fue aplicado las pruebas de normalidad (Shapiro y Wilk, 1965) y homocedasticidad de varianza (Levene, 1960). Si las variables cumplían con los supuestos antes mencionados fueron sometidas al análisis de varianza (ANOVA) y prueba de rangos múltiples de Tukey-Kramer (Kramer, 1956). Los que no cumplieron con uno o ambos supuestos fueron analizados mediante las pruebas de Kruskal Wallis y Wilcoxon. En cuanto al análisis de los datos productivos de las camadas, el peso de las cerdas y número de paridad fueron utilizadas como covariables. Los resultados se expresaron como media \pm error estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede observar en la tabla 2, no hubo diferencias significativas entre tratamientos para el peso corporal de las camadas al final de las fases evaluadas ($P > 0.05$). Adicionalmente, no se encontró diferencias significativas para la GP en la F1 ($P > 0.05$). Sin embargo, en la F2 se encontró diferencias significativas con una mayor GP en las camadas del grupo PP ($P < 0.05$). También, hubo una tendencia a diferir en la GP en la F1 y F2 general ($P < 0.10$), con la mayor ganancia en las camadas del tratamiento PP. Finalmente, las camadas suplementadas con PP tuvieron un mayor CA que el grupo PT ($P < 0.05$).

**Tabla 2**

Efecto de la suplementación de papilla o peletizado durante la lactancia sobre el desempeño productivo de las camadas. (Media \pm EE).

Variables, Kg	Tratamientos			Valor <i>p</i>
	TC	PT	PP	
Peso Inicial	17.24 \pm 0.88	16.37 \pm 0.51	16.19 \pm 0.62	0.52
PC d-5	25.54 \pm 1.21	23.68 \pm 1.27	23.22 \pm 0.92	0.33
PC d-13	42.91 \pm 3.02	42.46 \pm 2.80	41.28 \pm 1.45	0.89
PC d-21	56.93 \pm 4.95	61.64 \pm 3.67	65.41 \pm 2.20	0.3
GP F1	17.37 \pm 2.31	18.78 \pm 2.16	18.05 \pm 1.10	0.88
GP F2	14.02 \pm 2.59 ^a	19.19 \pm 2.08 ^{ab}	24.13 \pm 2.33 ^b	0.01
GP F1y F2	31.39 \pm 4.40	37.97 \pm 3.03	42.18 \pm 2.12	0.086
CA F1, g/camada	-----	152.5 \pm 24.74 ^a	433.79 \pm 49.93 ^b	<0.0001
CA F2, g/camada	-----	365.8 \pm 69.93 ^a	1410.16 \pm 118.83 ^b	<0.0001

*PC= Peso camada; *GP= Ganancia de peso promedio; CA= Consumo de alimento (Base Seca);
FI = (d 5-13); F2 = (d 14-21)

En el estudio realizado por Forero (2021), donde utilizó un sustituto lácteo para lechones obtuvo una GP de 40.43 kg/camada y 39.52 kg/camada para el grupo experimental y control, respectivamente. Bruininx et al. (2002), obtuvieron resultados de consumo de alimento en forma de papilla por los lechones que iban de 445-784 gr/camada durante toda lactancia. No obstante, nuestros resultados se mostraron mayores a los de Bruininx et al. (2002), donde se encontraron ingestas de alimento en un rango de 365-1410 gr/camada. Afirmando lo comentado por Sulabo et al. (2010), donde observó que del 60 al 80% de la ingestión total de alimento creep feed de una camada se produce durante la última semana antes del destete; ya sea cuando los lechones se destetan a las tres semanas o a las cuatro semanas de edad (Bruininx et al., 2002; Pluske et al., 2007).

En este estudio se puede apreciar que hubo mayor GP en las camadas suplementadas con PP, obteniendo un diferencial de +4.94 kg/camada y +10.11 kg/camada respecto al tratamiento PT y TC, respectivamente, en la F2. Esta mayor GP en las camadas PP va de la mano con un mayor CA, (Tabla 3), de las mismas en comparación al resto de los grupos experimentales. El mayor CA pudo deberse a las características organolépticas de la papilla, teniendo mayor similitud a la leche materna, favoreciendo su consumo, ayudando así a desarrollar mayor masa corporal y por lo tanto aumentar de peso durante la lactancia.

Tabla 3*Consumo de alimento de las cerdas. (Media \pm EE).*

Variables, Kg	Tratamientos			Valor <i>p</i>
	TC	PT	PP	
Adaptación (d 1-4)	3.17 \pm 0.17	2.70 \pm 0.20	2.53 \pm 0.28	0.13
F1 (d 5-13)	4.95 \pm 0.42	4.70 \pm 0.41	4.25 \pm 0.51	0.55
F2 (d 14-21)	5.62 \pm 0.31	5.31 \pm 0.35	4.89 \pm 0.37	0.07
F1 y F2	5.29 \pm 0.31	5.00 \pm 0.36	4.37 \pm 0.43	0.21
FG (d 1-21)	4.58 \pm 0.24	4.24 \pm 0.29	3.76 \pm 0.37	0.18

F1: Fase uno; F2: Fase dos; F1 y F2; Fase uno y Fase dos; FG: Fase general.

En cuanto al desempeño de las cerdas, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el CA de las cerdas en el periodo de adaptación y la F1, F1 y F2 y la FG ($P > 0.05$). Sin embargo, se mostró una tendencia a diferir para el consumo de alimento por parte de las cerdas en la F2 ($P < 0.10$), siendo mayor (5.62 kg/d) para las cerdas del tratamiento TC y menor (4.89 kg/día) para las cerdas con el tratamiento PP y con el tratamiento PT (5.31 kg/d) como intermedio. Esto se debe a que para las cerdas del tratamiento control, al no tener sus camadas con una suplementación alimenticia adicional a la leche materna, hubo una mayor demanda de leche por parte de los lechones. Por lo tanto, esto incrementa el consumo o demanda de alimento y nutrientes por parte de esta ya que existe mayor demanda de producción de leche para facilitar el crecimiento y desarrollo homogéneo de su camada. Gasa y Solá-Oriol (2016), mencionan que la ingestión media de alimento para cerdas lactantes es de 5.3 kg/día, con valores extremos de 4.2 y 7.8 kg/día. Con base a esto, podemos indicar que el consumo que presentaron las cerdas se encuentra en un rango normal.

Tabla 4*Efecto de diferentes tipos de creep feed sobre la grasa dorsal (mm) en cerdas durante el periodo de lactación. (Media \pm EE).*

Variables, mm	Tratamientos			Valor <i>p</i>
	TC	PT	PP	
GD d 112G	16.4 \pm 0.67	16 \pm 0.79	17.1 \pm 1.15	0.68
GD d 5	15.5 \pm 0.69	15 \pm 0.61	16 \pm 0.97	0.66
GD d 13	13.7 \pm 0.63	13.7 \pm 0.68	14.3 \pm 0.86	0.80
GD d 21	12.3 \pm 0.58	12.7 \pm 0.72	13.2 \pm 0.66	0.63

En la tabla 4 se muestran los resultados de grasa dorsal (GP) de las cerdas, donde se observa que no hubo diferencias significativas para la acumulación de grasa dorsal (mm) al final de cada fase. Aunado a esto, se puede decir que, numéricamente las cerdas del tratamiento control presentaron



menor acumulación de grasa dorsal (12.3 mm) en comparación a las cerdas donde sus camadas estuvieron suplementación complementaria ya fuese con alimento pelletizado (12.7 mm) o con papilla (13.2 mm). Los valores de grasa dorsal obtenido al final del estudio son valores reducidos en cerdas hiperprolíficas (Mun et al., 2024). No obstante, dichos resultados de grasa dorsal obtenidos al final del estudio fueron similar en las cerdas, independiente de la dieta de sus camadas, evidenciando que la suplementación complementaria en las camadas no ejerció mejoras en la condición corporal de las cerdas.

CONCLUSIONES

La suplementación complementaria en forma de papilla mejoró la ganancia de peso de las camadas durante la lactancia, denotando mejores desempeños en comparación a la dieta suplementaria en forma paletizada. Otros estudios deben realizarse con un mayor número de camadas, y evaluar el efecto sobre la fase posterior al destete.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bruininx, E., Binnendijk, G. P., Van der Peet-Schwering, C., Schrama J., Den Hartog, L., Everts H, y Beynen, A. C. (2002). Effect of creep feed consumption on individual feed intake characteristics and performance of group-housed weanling pigs. *Journal of Animal Science* 80(6): 1413-1418. <http://dx.doi.org/10.2527/2002.8061413x>
- Buddington, R. K., Sangild, P. T., Hance, B., Huang, E. Y., y Black, D. D. (2012). Prenatal gastrointestinal development in the pig and responses after preterm birth. *Journal of Animal Science* 90: 290-298. doi:10.2527/jas54604
- Campbell, J.M., Crenshaw, J.D., y Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4:19. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-1>
- Cooper, C. A., Moraes, L. E., Murray, J. D., Owens, S. D. (2014). Hematologic and biochemical reference intervals for specific pathogen free 6-week-old Hampshire-Yorkshire crossbred pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5(1): 1-6. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-5>
- Cruz, D.F., y Córdova, E. E. (2011). Efecto del Mucosol® para reducir el estrés calórico en cerdas lactantes. Tesis de Ingenieros Agrónomos. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/4380>
- Forero, B. (2021). Protocolo para manejo de lechones con bajo peso al nacimiento de acuerdo al desempeño zootécnico hasta la décima semana en granja comercial, república dominicana. Practica empresarial, social y solidaria, Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/7208fced-3e8a-4703-8502-3b65220fa655/content>



- Gasa, J., y Solá-Oriol, D. (2016). Avances en alimentación y manejo de cerdas hiperprolíficas durante la lactación. SNiba, Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Facultat de Veterinària, UAB.
https://www.produccionanimal.com.ar/produccion_porcina/00produccion_porcina_gener_al/285-2016_CapIV.pdf
- He, J., Zheng, W., Lu, M., Yang, X., Xue, Y., y Yao, W. (2019). A controlled heat stress during late gestation affects thermoregulation, productive performance, and metabolite profiles of primiparous sow. *Journal of Thermal Biology*, 81; 33-40.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.01.011>
- Lucy, M.C., Safranski, T.J. (2017). Heat stress in pregnant sows: Thermal responses and subsequent performance of sows and their offspring. *Molecular Reproduction and Development*, 84: 946–956. <https://doi.org/10.1002/mrd.22844>
- Maradiaga, N., Zeineldin, M., Aldridge, B., y Lowe, J. (2014). Influence of maternal microbial communities on the mucosal microbiome of neonatal pigs. *AASV*, 1:1-39.
https://www.aasv.org/foundation/research/2014_Lowe_CrossFostering.pdf
- Mun, H.-S., Ampode, K.M.B., Laguna, E.B., Chem, V., Park, H.-R., Kim, Y.H., Sharifuzzaman, M., Hasan, M.K., Yang, C.J. (2024) Backfat Thickness at Pre-Farrowing: Indicators of Sow Reproductive Performance, Milk Yield, and Piglet Birth Weight in Smart Farm-Based Systems. *Agriculture*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/agriculture14010024>
- Pluske, J.R., Hopwood, D.E., Hampson, D.J. (2003). Relación entre la microbiótica intestinal, el pienso y la incidencia de diarreas, y su influencia sobre la salud del lechón tras el destete. En: Memorias del XIX Curso de Especialización FEDNA.
https://www.produccionanimal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciosas/porcinos/08-microbiotica_intestinal.pdf
- Pluske, J.R., Kim, J., Hansen, C.F., Mullan, B.P., Payne, H.G., Hampson, D.J., Callesen, J., y Wilson R.H. (2007). Piglet growth before and after weaning in relation to a qualitative estimate of solid (creep) feed intake during lactation: A pilot study. *Archives of Animal Nutrition*, 61(6): 469-480. <https://doi.org/10.1080/17450390701664249>
- Sulabo, R.C., Tokach, M.D., Derouchey, J.M., Dritz, S.S., Goodband, R.D., y Nelssen, J.L. (2010). Effects of creep feeder design and feed accessibility on preweaning pig performance and the proportion of pigs consuming creep feed. *Journal of Swine Health and Production*, 18 (4): 174-181.
<https://newprairiepress.org/cgi/viewcontent.cgi?article=7066&context=kaesrr>



EFECTO DE LA INTERACCIÓN SOCIAL EN LA PRODUCTIVIDAD DE TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)

EFFECT OF SOCIAL INTERACTION ON THE PRODUCTIVITY OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)

*Vargas, Reynaldo. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. Sistema Nacional de Investigación (SNI). Panamá
reynaldo.vargas@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

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

Ríos-Moreno, Alex. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
alex.morenom@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>

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

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

Guerra, Ivonne. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.
ivonne.guerra@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-2289-9534>

*Correo de Correspondencia: reynaldo.vargas@up.ac.pa

Recibido: 28/02/2024

Aceptado: 02/09/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6540>

RESUMEN. El comportamiento representa estrategias del individuo para lidiar con los desafíos ambientales. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del estrés social en la consistencia temporal de comportamiento y su relación con bienestar animal y desempeño productivo. El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. Se empleó un diseño completamente al azar con dos factores: personalidad animal (proactivo, reactivo, intermedio) y condición de alimentación (alta competencia, baja competencia). Cada tratamiento se evaluó por triplicado. La personalidad animal mostró diferencias significativas en las latencias para el primer intento de escape al final del ensayo ($P < 0.001$). El grupo proactivo mostró mayor peso final, ganancia de peso, tasa de conversión alimenticia y tasa de crecimiento específico que mixtos y reactivos ($P < 0.001$; $P < 0.001$; $P < 0.001$; $P < 0.001$, respectivamente). El porcentaje de individuos con lesión en las aletas fue significativamente diferente de acuerdo con la personalidad animal ($P = 0.005$). Los fenotipos mostraron mayor porcentaje de lesión en la condición de alimentación de alta competencia ($P = 0.002$). En condición de alimentación de alta competencia el grupo proactivo y mixto mostraron mayor porcentaje de lesión de aleta que el grupo reactivo ($P < 0.001$; $P < 0.001$, respectivamente). La selección por personalidad animal mostró diferencias consistentes en el comportamiento al final del ensayo, que no fueron afectadas por la condición de alimentación. Los proactivos mostraron mejor desempeño productivo que mixtos y reactivos. El porcentaje de daño en las aletas refleja que los proactivos fueron más propensos a sufrir lesiones sobre todo en condición de alimentación de alta competencia.

PALABRAS CLAVE: acuicultura, eficiencia alimenticia, proactivo, prueba de restricción, reactivo.



ABSTRACT. Behavior represents the strategies of an individual to deal with environmental challenges. The objective of this study was to determine the effect of social stress on the temporal consistency of behavior and its relationship with animal well-being and productive performance. This study was conducted at the Faculty of Agricultural Sciences, University of Panama. A completely randomized design was used with two factors: animal personality (proactive, reactive, intermediate) and feeding conditions (high competition, low competition). Each treatment was evaluated in triplicates. Animal personality traits showed significant differences in latencies for the first escape attempt at the end of the trial ($p < 0.001$). The proactive group showed greater final weight, weight gain, feed conversion rate, and specific growth rate than the mixed and reactive groups ($P < 0.001$, $P < 0.001$; $p < 0.001$; $p < 0.001$, respectively). The percentage of individuals with fin lesions differed significantly according to animal personality ($p = 0.005$). The phenotypes showed a higher percentage of lesions under the high-competition feeding condition ($p = 0.002$). Under the high-competition feeding condition, the proactive and mixed groups showed a higher percentage of fin lesions than the reactive group ($p < 0.001$ and $p < 0.001$, respectively). Selection for animal personality traits showed consistent differences in behavior at the end of the trial, which were not affected by feeding conditions. The proactive ones showed better productive performance than the mixed and reactive ones did. The percentage of damage to the fins reflects that the proactive individuals were more likely to suffer injuries, especially in the high-competition feeding condition.

KEYWORDS: aquaculture, feed efficiency, proactive, reactive, restriction test.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la biología de los organismos es necesario para alcanzar niveles óptimos de producción. En el caso concreto de la acuicultura existen una diversidad de formas de gestión de las granjas acuícolas, que afectan diferencialmente las respuestas de los individuos en variables zootécnicas de interés económico (Huntingford y Adams, 2005). A nivel mundial cada vez más son empleadas evaluaciones de comportamiento en los programas de selección que se realizan en peces generando líneas por las variaciones individuales consistentes en el tiempo y a través de contextos y/o situaciones, lo que se conoce en la literatura como personalidad animal (Gosling, 2001; Dall *et al.*, 2004), temperamento (Réale *et al.*, 2007) o estilo de afrontamiento (coping style, Koolhaas *et al.*, 1999). El termino consistencia se refiere a comportamientos que se caracterizan por una alta previsibilidad o correlación durante medidas repetidas (Budaev y Zworykin, 2002). Esta consistencia puede ser desafiada por diversos factores, uno de ellos es la interacción ambiental ya sea física o social que pueden tener un efecto en la consistencia temporal de un comportamiento afectando su relación con estrés y por ende la productividad (Mittelbach *et al.*, 2014).

Las variaciones individuales no siempre muestran consistencia y en muchos casos los patrones de respuestas son variables en el tiempo y entre contextos y/o situaciones y se conocen como plasticidad (Dingenmanse *et al.*, 2007) o flexibilidad de comportamientos (Coppens *et al.*, 2010). La flexibilidad refleja el efecto que tiene el ambiente para alterar la consistencia de rasgos de personalidad (Dingenmanse y Wolf, 2013). La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies que se cultivan en nuestro país bajo diferentes modelos de gestión, en donde el comportamiento de alimentación constituye uno de los momentos de mayor interacción social. La interacción social que se genera en el momento de la alimentación va a estar determinado por la consistencia del fenotipo de comportamiento del individuo y por su plasticidad generando un “trade-off” entre incrementos de peso a través de monopolizar recursos o sufrir lesiones por defender esos recursos afectando positiva o negativamente su bienestar y producción (Ashley,



2007). Con estos antecedentes nosotros nos planteamos como objetivo determinar el efecto del estrés social en la consistencia temporal de comportamiento y su relación con desempeño productivo y bienestar animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La investigación se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, ubicada en el corregimiento de Chiriquí, Chiriquí, Panamá, localizada a los 8°23'15.12'' de latitud norte y 82°19'47.48'' de longitud oeste, con una elevación de 26 m s. n. m.

Animales experimentales y alojamiento

Un total de 500 alevines de *Oreochromis niloticus* de ambos sexos, con un peso de 1 ± 0.02 gramos fueron alojados en tinas de 400 litros (350 litros de volumen útil) por un periodo de aclimatación de 21 días. El agua se suministró de una fuente natural la cual fue previamente filtrada antes de entrar a los tanques de alojamiento. La temperatura del agua se mantuvo en 29.06 ± 1.01 °C, las concentraciones de oxígeno se mantuvieron en 6.47 ± 0.26 mg/L (miligramos x litro), ambas mediciones se realizaron diariamente con un oxímetro (Milwaukee®, Model MW600, USA). Adicionalmente se realizaron controles semanales de Amoniaco, Nitrito, Nitrito y pH (API®, Mars Fishcare North America, Inc., Hamilton Street United States). Se alimentaron dos veces al día a una tasa de 4% de su peso vivo empleando un alimento comercial con 25% de proteína cruda (Tilapia 25%, Grupo CALESA®). El fotoperiodo se mantuvo en 12 horas luz 12 horas oscuridad (06:00 am-06:00 pm).

Diseño experimental

Finalizado el periodo de aclimatación los peces fueron separados en fenotipos de comportamiento empleando la prueba de restricción formando los grupos experimentales. Una semana después de realizada la prueba de restricción los grupos (N=30) fueron pesados y sometidos a una condición de estrés social al momento de alimentarse. Cada grupo tenía un control sin estrés social. Se empleó un diseño de tratamientos completos al azar con dos factores. El factor uno denominado personalidad animal con tres niveles; el factor dos denominada condición de alimentación con dos niveles generando seis tratamientos y tres replicas. Al final del experimento los grupos fueron evaluados por sus respuestas de comportamiento, desempeño productivo, respuesta fisiológica de estrés y bienestar animal.

Separación de fenotipos de personalidad animal

Para la selección de los grupos experimentales se evaluó la respuesta individual en comportamiento utilizando la prueba de restricción. La prueba de restricción consistió en alojar cada pez en una malla de 16 centímetros de largo por 12 centímetros de ancho fuera del agua por un minuto realizando una adaptación de la metodología propuestas por Silva *et al.* (2010); Martins *et al.* (2011). Se evaluó la latencia en segundos tomada por cada pez para mostrar un intento de escape. Un intento de escape se definió como la elevación del cuerpo de la malla. El criterio de selección empleado para separar entre fenotipos de comportamiento en fenotipos de personalidad



animal fue el siguiente: peces con latencias menores de 20 segundos fueron considerados proactivos, peces con latencias entre 20 y 40 segundos fueron considerados intermedios y peces con latencias mayores de 40 segundos fueron considerados reactivos. Los deferentes fenotipos fueron alojados por separado.

Estrés social

Los grupos fueron sometidos a una condición de alimentación de alta y baja competencia realizando una adaptación de la metodología propuesta por Ruzzante y Doyle, (1991); Ruiz-Gomez, (2009). En la condición de alta competencia el alimento se suministró dentro de un círculo plástico, colocado en una esquina del tanque, el cual limita el acceso y permite la posibilidad de algunos peces de monopolizar el alimento suministrado. Durante el periodo experimental se utilizaron dos tamaños de círculos plásticos los cuales fueron ajustados de acuerdo con el crecimiento somático de los individuos experimentales. Los tamaños de círculos de alimentación empleados fueron 2.5 centímetros de diámetro interno las primeras tres semanas y 4.5 centímetros de diámetro interno de la semana cuatro hasta la semana seis. En la condición de baja competencia el alimento se suministró en toda la superficie del tanque de alojamiento, lo que permite menor competencia para alimentarse por parte de todos los peces.

Tratamientos

Se evaluaron seis tratamientos detallados en la tabla 1.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos estudiados, fenotipo del grupo y condición de alimentación.

Descripción	Fenotipo de Comportamiento	Condición de Alimentación
PAC	100%proactivos	Alta competencia
MAC	60% intermedios, 20% proactivos y 10% reactivos	Alta competencia
RAC	100% reactivos	Alta competencia
PBC	100%proactivos	Baja competencia
MBC	60% intermedios, 20% proactivos y 10% reactivos	Baja competencia
RBC	100% reactivos	Baja competencia

Desempeño productivo

Finalizada la etapa experimental se evaluaron las siguientes variables de desempeño productivo: peso final (PF), ganancia de peso (GP), tasa de crecimiento específico (TCE), Tasa de conversión alimenticia (TCA).

$GP(g) = PF(g) - PI(g)$. En donde PF= peso final (gr), PI= peso inicial (gr).



TCE: $100 (\ln PF(g) - \ln PI(g)) / \text{tiempo de experimento días}$. En donde $\ln PF(g)$ = logaritmo del peso total final en gramos, $\ln PI(g)$ = logaritmo del peso total inicial en gramos, T= tiempo de duración del experimento en días

TCA= alimento consumido/ganancia de peso.

Bienestar animal

Al final del experimento se evaluó la tasa ventilatoria contando el tiempo necesario para 20 movimientos operculares o bucales sucesivos. La estimación se realizó de forma visual adaptando la metodología propuesta por Barreto y Volpato, (2011). También se evaluó la incidencia de daño en las aletas. El daño de las aletas se definió como un cambio en el área total de las aletas y se estimó adaptando la escala propuesta por Person-Le Ruyet y Le Bayon, (2009).

Análisis estadístico

Todos los datos se ingresaron en una hoja de cálculo Microsoft Excel® para su procesamiento y el análisis estadístico se realizó con R versión 4.0.2 (R-Development-Core-Team 2021) y los gráficos con Graph Pad Prism V.8.0.2. (San Diego, CA, USA). Las variables fueron evaluadas por los supuestos de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk's y con la prueba de Levene's para analizar la homogeneidad de varianzas. Si los datos no cumplen con estos supuestos se realizará el análisis utilizando pruebas no paramétricas. Diferencias entre variables de comportamiento, desempeño productivo, y tasa ventilatoria fueron evaluadas empleando la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para dos grupos y Kruskal-Wallis para tres o más grupos, resultados significativos fueron evaluados con la prueba de comparaciones múltiples de Dunn's. La incidencia de daño en las aletas fue transformado a porcentajes y evaluado empleando la prueba Chi- cuadrado (χ^2). Correlaciones entre variables de comportamiento con variables de desempeño productivo y bienestar animal se analizaron empleando el coeficiente de Spearman. Se empleó un nivel de significancia de $p < 0.05$, los análisis.

RESULTADOS

La distribución porcentual de fenotipos de personalidad animal en la población estudiada se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Distribución porcentual de fenotipos de personalidad animal en 500 juveniles de Oreochromis niloticus.

Fenotipo de personalidad animal	%
Proactivo	18
Intermedio	65
Reactivo	17

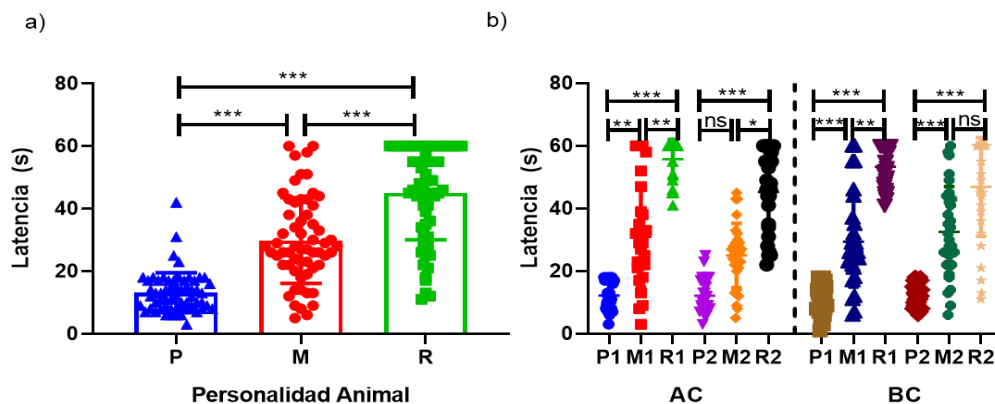


Comportamiento

Los resultados muestran que existe un efecto significativo de los grupos de personalidad animal en la latencia al final del ensayo (K-W=98.57, $P<0.001$; Figura 1a). El grupo proactivo muestra latencias significativamente menores que los grupos mixto y reactivo ($P<0.001$; $P<0.001$, respectivamente). El grupo mixto muestra menor latencia que el grupo reactivo en la prueba dos ($P<0.001$). No existe diferencias en las latencias mostrada por los grupos de acuerdo con la condición de alimentación ($U=3761$, $P=0.40$). Existe interacción significativa entre el fenotipo de personalidad animal y el tiempo de evaluación (K-W=238.2, $P<0.001$; Figura1b). El grupo proactivo muestra menor latencia para el primer intento de escape que el grupo mixto y reactivo en condiciones de alimentación de alta y baja interacción en la prueba uno (alta $P=0.002$, $P<0.001$; baja $P<0.001$, $P<0.001$, respectivamente). Los grupos mixtos y reactivos son significativamente diferentes en sus latencias para el primer intento de escape en condiciones de alimentación de alta y baja interacción en la prueba uno ($P=0.001$, $P=0.002$, respectivamente). El grupo proactivo fue similar al grupo mixto ($P=0.10$) y diferente del grupo reactivo ($P<0.001$) en alta interacción en la prueba dos. Mixtos y reactivos tuvieron latencias diferentes en alta interacción de alimentación en la prueba dos ($P=0.03$). En condiciones de alimentación de baja interacción proactivos mostraron menor latencia que mixtos y reactivos en la prueba dos ($P<0.001$, $P<0.001$). Mixtos y reactivos muestran latencias similares en condiciones de alimentación de baja interacción en la prueba dos ($P=0.70$). No encontramos diferencias entre grupos.

Figura 1

Media \pm Desviación estándar ($M \pm DE$) de latencia al primer intento de escape a) entre fenotipos de personalidad animal b) en la interacción fenotipo de personalidad animal por condición de alimentación. ns=sin diferencia significativa, * $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$.



Desempeño productivo

La composición de fenotipos de personalidad animal tuvo un efecto en el desempeño productivo. Se observó diferencias significativas en el peso final de acuerdo con la composición de fenotipos de personalidad animal de los tratamientos (K-W=47.56, $P<0.001$; 2a). El tratamiento proactivo mostró mayor peso final que mixtos y reactivos ($P<0.001$; $P<0.001$, respectivamente). No hubo



diferencias entre el tratamiento mixtos y reactivos ($P=0.51$). No se encontró diferencias significativas en la condición de alimentación ($U=3508$, $P=0.12$). La interacción entre personalidad animal y condición de alimentación muestra diferencias significativas ($K-W=51.11$, $P<0.001$; 2b). Los peces proactivos fueron más pesados que los mixtos y reactivos en condición de alimentación de alta competencia ($P<0.001$; $P<0.001$, respectivamente) y de baja competencia ($P=0.001$; $P=0.03$, respectivamente). No se encontró diferencias entre mixtos y reactivos en ninguna de las dos condiciones de alimentación ($P>0.05$; $P>0.05$, respectivamente).

Los fenotipos de personalidad animal tuvieron un efecto en la ganancia de peso ($K-W=18.37$, $P<0.001$; 2c). Los proactivos mostraron mejor ganancia de peso que mixtos y reactivos ($P<0.001$, $p=0.002$, respectivamente). Mixtos y reactivos mostraron iguales ganancias de peso ($P>0.05$). No se encontró efecto en la condición de alimentación ($U=3527$, $P=0.13$). La interacción muestra diferencias significativas en la ganancia de peso ($K-W=50.95$, $P<0.001$; 2d). El tratamiento proactivo gana más peso en condición de alimentación de alta y baja interacción que mixtos y reactivos ($P<0.001$, $P<0.001$, $P=0.001$, $P=0.01$, respectivamente). Reactivos y mixtos no mostraron diferencias significativas en la ganancia de peso en alta y baja condición de alimentación ($P>0.05$; $P>0.05$, respectivamente).

La tasa de conversión alimenticia fue estadísticamente diferente en los grupos estudiados ($K-W=47.77$, $P<0.001$; 2e). Los peces proactivos mostraron una tasa de conversión alimenticia mejor que los mixtos ($P<0.001$) y reactivos ($P<0.001$). La tasa de conversión alimenticia fue similar entre mixtos y reactivos ($P=0.52$). La tasa de conversión alimenticia no fue afectada por la condición de alimentación ($U=3534$, $P=0.13$). La tasa de conversión alimenticia muestra interacción significativa entre la personalidad animal y la interacción alimenticia ($K-W=51.11$, $P<0.001$; 2f). Los peces proactivos mostraron mejor tasa de conversión alimenticia que mixtos y reactivos en alta ($P<0.001$; $P<0.001$, respectivamente) y baja ($P=0.001$; $P=0.03$, respectivamente). Mixtos y reactivos no mostraron diferencias significativas en alta y baja interacción ($P>0.05$; $P>0.05$, respectivamente).

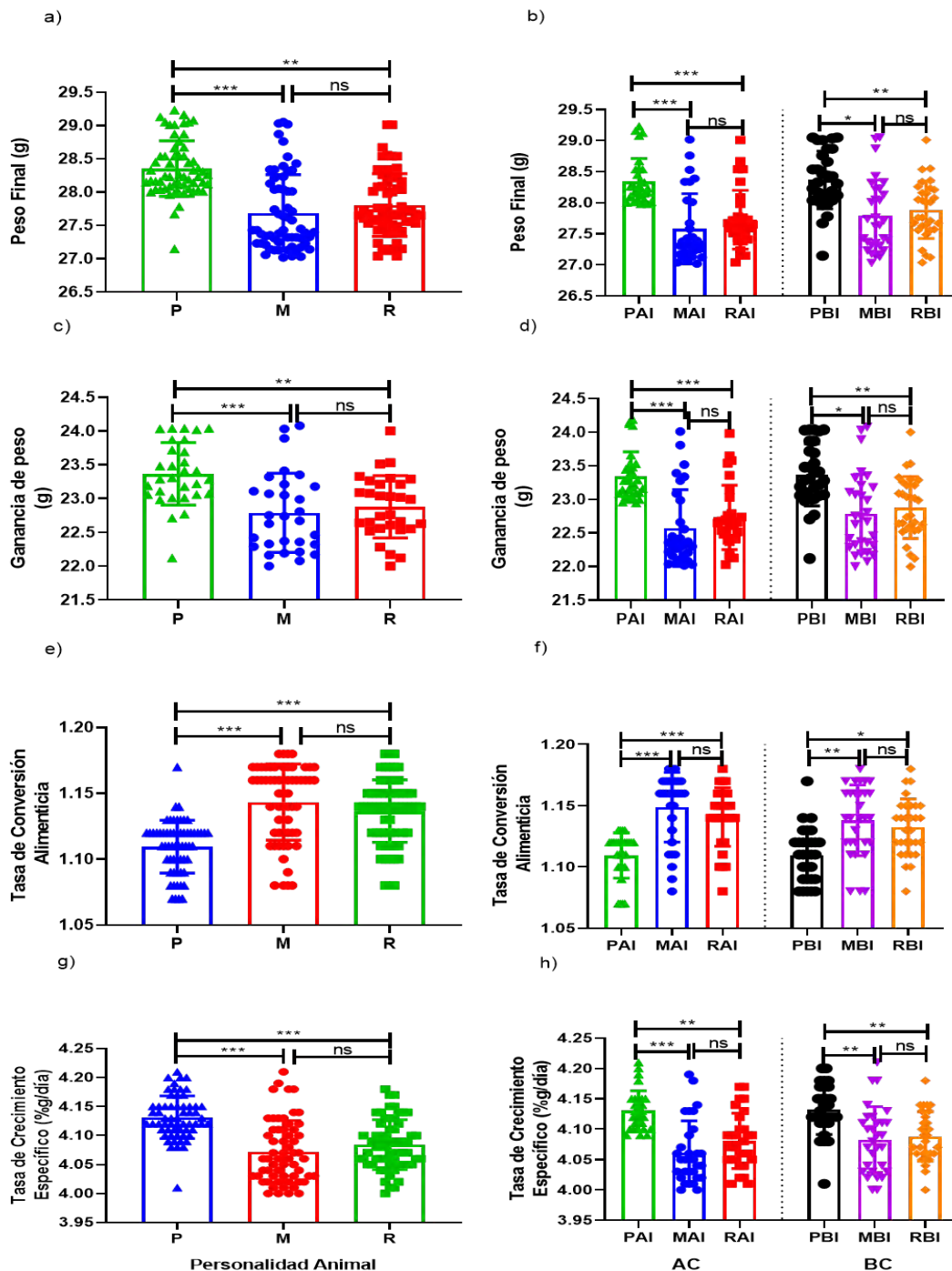
La tasa de crecimiento específico muestra diferencia significativa de acuerdo con los fenotipos de personalidad animal ($K-W=46.53$, $P<0.001$; 2g). El fenotipo proactivo muestra tasas de crecimiento específico superiores que mixtos ($P<0.001$) y reactivos ($P<0.001$). Mixtos y reactivos mostraron tasas de crecimientos específicos similares ($P>0.05$). La interacción de alimentación no afectó significativamente la tasa de crecimiento específico ($U=3606$, $P=0.20$). La interacción entre personalidad animal y condición de alimentación fue significativa ($K-W=49.21$, $P<0.001$; 2h). En alimentación de alta interacción el tratamiento proactivo mostró una mejor tasa de crecimiento específico que mixtos y reactivos ($P>0.001$; $p=0.001$, respectivamente). En alimentación de baja interacción el tratamiento proactivo muestra una tasa de crecimiento específico mejor que mixtos y reactivos ($P=0.001$; $P=0.009$, respectivamente). Reactivos y mixtos mostraron tasas de crecimiento específico similar en condiciones de alimentación de alta y baja interacción ($P>0.05$, $P>0.05$, respectivamente).

Figura 2

Media \pm DE, de a) peso final entre fenotipos de personalidad animal b) peso final en la interacción fenotipo de personalidad animal por condición de alimentación c) ganancia de peso entre fenotipos de personalidad animal d) ganancia de peso en la interacción fenotipo de personalidad



animal por condición de alimentación e) tasa de conversión alimenticia entre fenotipos de personalidad animal f) tasa de conversión alimenticia en la interacción fenotipo de personalidad animal por condición de alimentación g) tasa de crecimiento específico entre fenotipos de personalidad animal h) tasa de crecimiento específico en la interacción fenotipo de personalidad animal por condición de alimentación. ns=sin diferencia significativa, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.



Bienestar animal

El porcentaje de daño a nivel de aletas fue afectado por la personalidad animal ($\chi^2_{(2)}=10.38$, $P=0.005$, Figura 3a). Los fenotipos de personalidad animal proactivos y mixtos muestran igual porcentaje de lesión en las aletas ($\chi^2_{(1)}=0.08$, $P=0.76$). Existe diferencia significativa en el porcentaje de lesión de aletas entre proactivos y reactivos ($\chi^2_{(1)}=7.41$, $P=0.006$; Figura 3b) y entre mixtos y reactivos ($\chi^2_{(1)}=9.05$, $p=0.002$; Figura 3c). Encontramos un efecto significativo de la condición de alimentación en los tratamientos estudiados ($\chi^2_{(1)}=9.52$, $P=0.002$; Figura 3d). Existe interacción significativa entre la personalidad animal y la condición de alimentación en la incidencia de daño de los tratamientos estudiados ($\chi^2_{(5)}=53.73$, $P<0.001$; Figura 4a). En condición de alimentación de alta interacción proactivos y mixtos mostraron la misma incidencia de daño a nivel de aletas ($\chi^2_{(1)}=0.18$, $P=0.67$). Sin embargo, proactivos y reactivos ($\chi^2_{(1)}=12.66$, $P<0.001$; Figura 4b), mixtos y reactivos ($\chi^2_{(1)}=15.73$, $P<0.001$; Figura 4c), mostraron diferencias significativas en la incidencia de daño en condición de alimentación de alta interacción. En condiciones de alimentación de baja interacción proactivos y mixtos, proactivos y reactivos, mixtos y reactivos mostraron igual incidencia de daño en las aletas ($\chi^2_{(1)}=0.00$, $P>0.05$; $\chi^2_{(1)}=3.38$, $P=0.06$; $\chi^2_{(1)}=3.38$, $P=0.06$, respectivamente).

Figura 3

Porcentaje de peces con (CD) y sin (SD) daño de aletas a) entre fenotipos de personalidad animal b) proactivos y reactivos c) mixtos y reactivos d) condición de alimentación, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

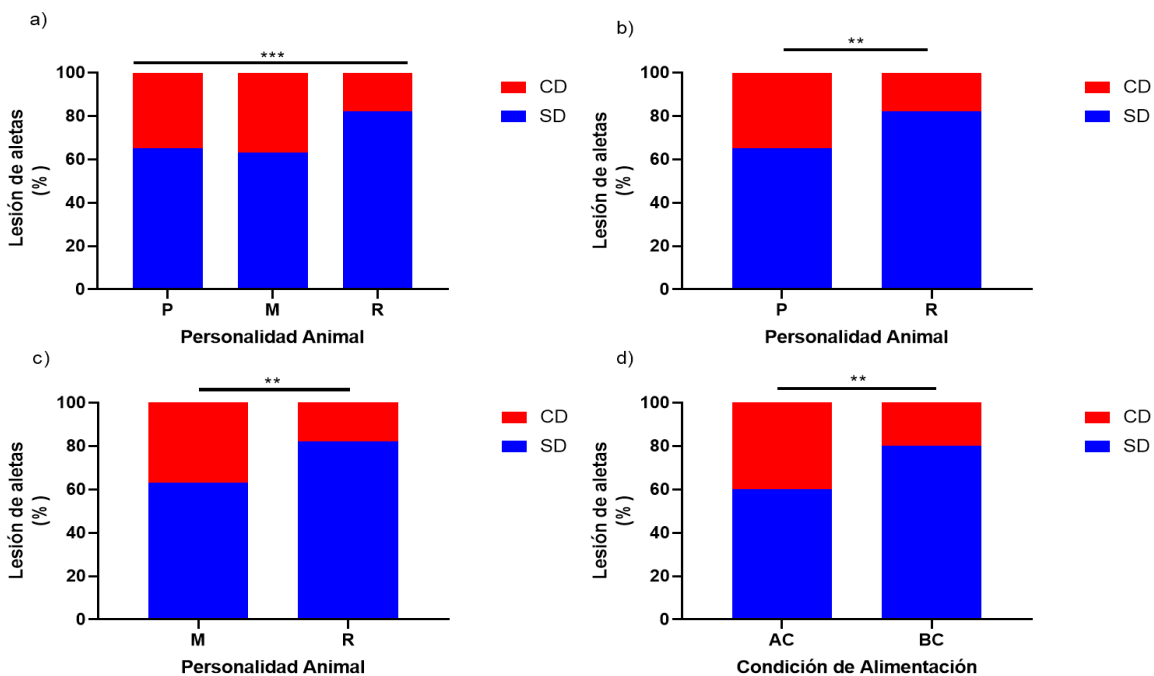
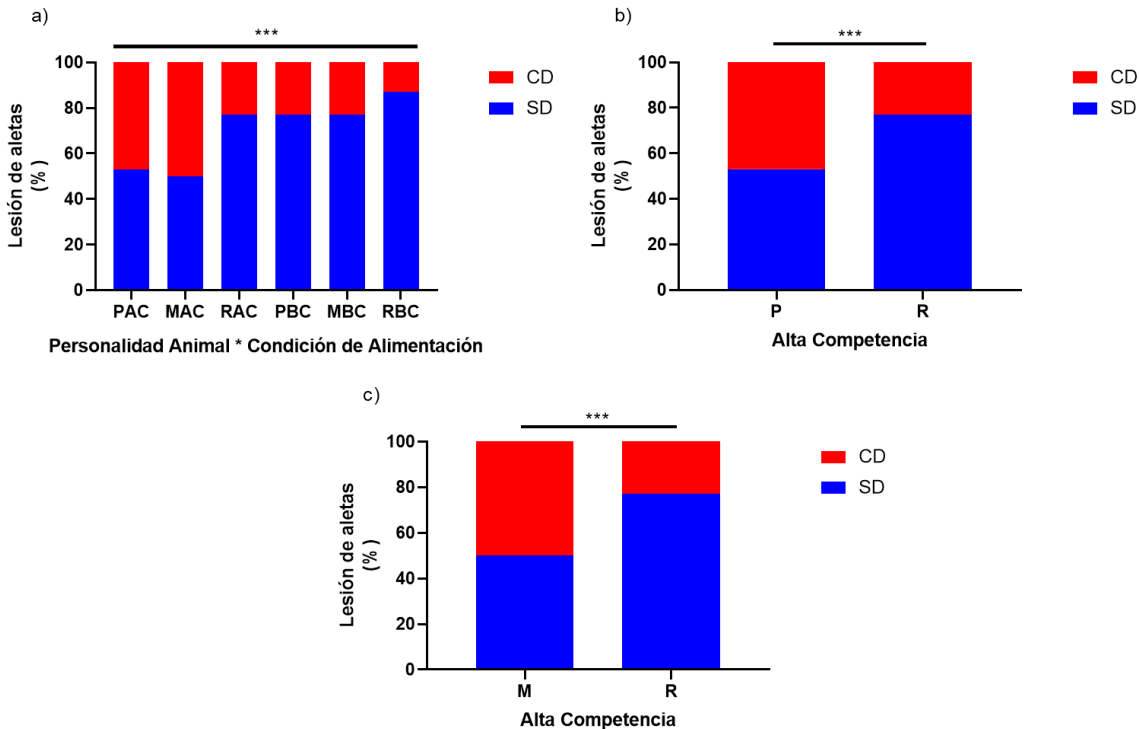




Figura 4

Porcentaje de peces con daño de aletas (CD) y sin daños (SD) a) por interacción fenotipos de personalidad animal * condición de alimentación b) proactivos y reactivos en alta interacción c) mixtos y reactivos en alta interacción. *** $p < 0.001$



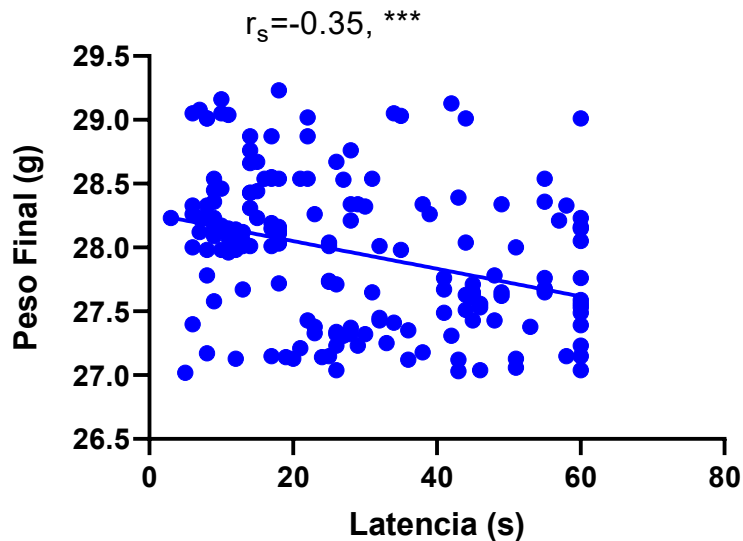
La tasa ventilatoria no fue afectada por la personalidad animal ($K-W=0.87$, $p=0.64$). No se encontró efecto de la interacción en la condición de alimentación en la tasa ventilatoria ($U=3754$, $p=0.38$). No encontramos diferencia significativa en la interacción personalidad animal y condición de alimentación ($K-W=1.76$, $p=0.88$).

Correlación

Se encontró una correlación significativa entre la latencia al primer intento de escape y el peso final ($r_s=-0.35$, $P<0.001$; Figura 5). Los resultados muestran que de forma general no existe correlación entre la latencia para el primer intento de escape y la tasa ventilatoria ($r_s=-0.06$, $P=0.36$). Latencia al primer intento de escape e incidencia de daño de aletas muestran una tendencia ($r_s=-0.13$, $P=0.06$).

Figura 5

Coeficiente de correlación de Spearman para latencia al primer intento de escape y el peso final de los fenotipos de personalidad animal y las condiciones de alimentación *** $p < 0.001$.

**DISCUSIÓN**

Los resultados principales de este estudio muestran que la selección por variaciones individuales en respuesta de comportamiento tiene efectos significativos en variables importantes para acuicultura. Los peces proactivos muestran diferencias en desempeño productivo comparados con los peces reactivos y el grupo mixto. Existe un efecto de la condición ambiental sobre los grupos estudiados. Hay interacción en los factores estudiados que se refleja en variables relacionadas con acuicultura que tienen importantes repercusiones económicas y ambientales.

La prueba de restricción, empleando la disposición para asumir riesgo como el intento de escape se ha utilizado con éxito para estudiar rasgos de personalidad en varias especies de peces (Silva *et al.*, 2010; Castanheira *et al.*, 2013ab). En nuestra investigación los resultados obtenidos apoyan la validez de la prueba de restricción empleando la disposición a tomar riesgo como herramienta apropiada para separar poblaciones de peces en diferentes fenotipos de personalidad animal el estudio de la personalidad animal. Estos resultados muestran que la prueba de restricción separa adecuadamente la población en diferentes fenotipos y que los extremos de la variación individual muestran diferencias en la consistencia 42 días después de la primera prueba, todos estos resultados validan el uso de la prueba de restricción como una prueba conductual apropiada para separar juveniles de *O. niloticus* en diferentes fenotipos de personalidad animal.

Los peces proactivos y reactivos modularon su comportamiento con la condición de alimentación. Sin embargo, mostraron respuestas diferenciales de acuerdo con el tipo de condición ambiental. Una posible explicación para el cambio en la respuesta de comportamiento según condición de alimentación puede ser atribuida al contexto que puede afectar el comportamiento colectivo por ejemplo se ha observado que los grupos de animales pueden volverse más cohesivos con el aumento del riesgo de depredación, pero se dispersan cuando se alimentan (Hoare *et al.*, 2004;

Schaerf *et al.*, 2016). En línea con esto se ha observado cambios en comportamientos de muchas especies de animales que viven en entornos espacialmente complejos donde la apariencia y la persistencia de alimentos, refugio y depredadores pueden ser irregulares (Pitcher y Parrish, 1993; Krause y Ruxton, 2002).

Los fenotipos de personalidad animal mostraron diferencias en desempeño productivo independiente de la condición de alimentación. Sin embargo, la condición de alimentación tuvo un efecto sobre el porcentaje de fenotipos de personalidad animal que mostraron las líneas. En la condición de alimentación de alta competencia el 87% de los peces proactivos comparado contra un 67% del grupo reactivo. Mientras que en condición de alimentación de baja competencia el 94% de los peces fueron consistentemente proactivos comparado contra un 73% del grupo reactivo. Estos resultados muestran que el grupo proactivo es menos plástico con lo cual tiende a mostrar comportamientos rígidos y rutinarios. Resultados similares han reportado Ruiz-Gómez *et al.* (2011), en trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), los autores encontraron que los individuos proactivos mostraban menor respuesta a estímulos ambientales es decir mostraban mayor tendencia a desarrollar rutinas. El grupo reactivo mostró una mayor plasticidad que se evidenció en las diferencias observadas en el menor porcentaje de fenotipos en la prueba final comparado con la población. En línea con estos resultados en la literatura Benus *et al.* (1987); Benus *et al.* (1990), en un estudio realizados con ratones y ratas mostraron que la línea reactiva fue más plástica en sus comportamientos y estos individuos fueron más sensitivos a una modificación ambiental.

El desempeño productivo indica primeramente que la selección por personalidad animal tiene un importante impacto económico. Nuestros resultados reflejan que el grupo proactivo muestra mayor peso final, ganancias de peso, conversión alimenticia y mejores tasas de crecimiento específico sin importar la condición de alimentación. Una posible explicación para el mayor incremento de peso en el grupo proactivo puede ser atribuido a su mayor capacidad competitiva. En línea con esto Ward *et al.* (2004), en un estudio con *Gasterosteus aculeatus*, reportaron que peces audaces comportamiento típico del estilo de afrontamiento proactivo crecieron más rápido que individuos tímidos característicos del estilo de afrontamiento reactivo, los autores concluyen que los individuos audaces crecieron más rápido y fueron más competitivos. En carpa común Huntingford *et al.* (2010), mostraron que la habilidad competitiva mostrada por algunos individuos en un ambiente de alimentación restringida fueron los mismos que estuvieron menor latencia para explorar un ambiente nuevo, comportamiento característico del estilo de afrontamiento proactivo. En tilapia del Nilo Martin *et al.* (2011), mostraron que individuos proactivos parecen recobrar más rápido la alimentación después de ser transferidos en un ambiente nuevo y utilizar de forma más eficiente el recurso alimenticio.

Los niveles de estrés fueron similares en los grupos estudiados, sin embargo, la incidencia de daño fue menor en reactivos que en los otros fenotipos de personalidad animal. Encontramos un mayor porcentaje de daño de aletas en alta competencia de alimentación. El 47% de los individuos del grupo proactivo mostraron un nivel de daño de aleta comparado con un 23 % del grupo reactivo, este resultado en conjunto con el 50% de nivel de daño mostrado por el grupo mixto sugiere que los individuos proactivos muestran una mayor agresividad en condiciones de alta competencia que esto fue reportado por Martins *et al.* (2005), en un estudio con *Clarias gariepinus* reportaron diferencias individuales en tasas de alimentación están relacionadas con agresividad. Øverli *et al.* (2004), en un estudio con *O. mykiss* indican que en un contexto de parejas el individuo que había



reanudado más rápidamente la ingesta de alimento después de la transferencia al aislamiento casi siempre ganaba la lucha posterior por el dominio social, ambos comportamientos característicos de personalidad proactiva.

CONCLUSIÓN

En conclusión, estos resultados nos indican que la selección por personalidad animal tiene importantes implicaciones en desempeño productivo. Sin embargo, existe un efecto del contexto social que puede modular las respuestas de comportamiento y afectar el bienestar animal.

AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue posible gracias al apoyo del Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la SENACYT, Panamá. También queremos agradecer a la Facultad de Ciencias Agropecuarias sede Chiriquí, Universidad de Panamá por las facilidades brindadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashley, P. J. (2007). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104, 199-235.
- Barreto, R. E. y Volpato, G. L. (2011). Ventilation rates indicate stress-coping styles in Nile tilapia. *Journal of Bioscience*, 36, 851-855.
- Benus, R., Koolhaas, J., y van Oortmerssen, G. (1990). Routine formation and flexibility in social and nonsocial behavior of aggressive and nonaggressive male-mice. *Behaviour*, 112, 176-193.
- Benus, R., Koolhaas, J., y van Oortmerssen, G. (1987). Individual-differences in behavioral reaction to a changing environment in mice and rats. *Behaviour*, 100, 105-122.
- Budaev, S., y Zworykin, D. (2002). Individuality in fish behavior. Ecology and comparative psychology. *Journal of Ichthyology*, 42, 189-195.
- Castanheira, M. F., Herrera, M., Costas, B., Conceição, L.E.C. y Martins, CIM. (2013a). Linking cortisol responsiveness and aggressive behaviour in gilthead seabream *Sparus aurata*: Indication of divergent coping styles. *Applied Animal Behaviour Science*, 143, 75-81.
- Castanheira, M. F., Herrera, M., Costas, B., Conceição, L. E. C. y Martins, C. I. M. (2013b). Can we predict personality in fish? –searching for consistency over time and across contexts. *PLoS ONE*, 8(4), e62037.



- Coppens, C., Boer, S. y Koolhaas, J. (2010). Coping styles and behavioural flexibility: towards underlying mechanisms. *Proceedings of the Royal Society B*, 365, 4021-4028.
- Dall, S., Houston, A., y McNamara, J. (2004). The Behavioral ecology of personality: consistent individual differences from an adaptive perspective. *Ecology Letters*, 7, 734-739.
- Dingemanse, N., Wright, J., Kazem, A., Thomas, D., Hickling, R. y Dawnay, N. (2007). Behavioural syndromes differ predictably between 12 populations of three-spined stickleback. *Journal of Animal Ecology*, 76, 1128-1138.
- Dingemanse, N. y Wolf, M. (2013). Between-individual differences in behavioural plasticity within populations: causes and consequences. *Animal Behaviour*, 85, 1031-1039.
- Gosling, SD. (2001). From mice to men: what can we learn about personality from animal research? *Psychological Bulletin*, 127, 45-86.
- Hoare, D. J., Couzin, I. D., Godin, J. G. J. y Krause, J. (2004). Context-dependent group size choice in fish. *Animal Behavior*, 67, 155-164.
- Huntingford, F. y Adams, C. (2005). Behavioural syndromes in farmed fish: implications for production and welfare. *Behaviour*, 142, 1207-1221.
- Huntingford, F. A., Andrew, G., Mackenzie, S., Morera, D., Coyle, S. M., Pilarczyk M. y Kadri, S. (2010). Coping strategies in a strongly schooling fish, the common carp *Cyprinus carpio*. *Journal of Fish Biology*, 76, 1576-1591.
- Koolhaas, J. M., Korte, S. M., De Boer, S. F., Van Der Vegt, B. J., Van Reenen, C. G, Hopster, H., De Jong, I. C., Ruis, M. A. W. y Blokhuis, H. J. (1999). Coping style in animals: current status in behavior and stressphysiology. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23, 925-935.
- Krause, J. y Ruxton, G. D. (2002). *Living in groups*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Martins, C. I. M., Aanyu, M., Schrama, J. W. y Verreth, J. A. J. (2005). Size distribution in African catfish (*Clarias gariepinus*) affects feeding behaviour but not growth. *Aquaculture*, 250, 300-307.
- Martins, C. I. M., Conceição, L. E. C. y Schrama, J. W. (2011). Consistency of individual variation in feeding behaviour and its relationship with performance traits in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Applied Animal Behaviour Science*, 133, 109-116.
- Mittelbach, G. G., Ballew, N. G., y Kjelvik, M. K. (2014). Fish behavioral types and their ecological consequences. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71, 927-944.



- Øverli, Ø., Korzan, W. J., Larson, E. T., Winberg, S., Lepage, O., Pottinger, T. G., Renner, K. J. y Summersa, C. H. (2004). Behavioral and neuroendocrine correlates of displaced aggression in trout. *Hormones and Behavior*, 45, 324- 329.
- Person-Le Ruyet, J. y Le Bayon, N. (2009). Effects of temperature, stocking density y farming conditions on fin damage in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquatic Living Resources*, 22, 349-362.
- Pitcher, T. J. y Parrish, J. K. (1993). Functions of shoaling behaviour in teleosts. In Behaviour of teleost fishes (ed TJ Pitcher), pp. 363– 439. London, UK: Chapman and Hall.
- Réale, D., Reader, S. M., Sol, D., McDougall, P. T. y Dingemanse, N. J. (2007). Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biological Reviews*, 82, 291-318.
- Ruiz-Gómez, M. (2009). Decoupling aggression and risk-taking: patterns of variation in two species of freshwater fish. (PhD thesis). Glasgow University, Scotland, UK.
- Ruiz-Gomez, M. L., Huntingford, F. A., Øverli, Ø., Thörnqvist, P. O. y Höglund, E. (2011) Response to environmental change in rainbow trout selected for divergent stress coping styles. *Physiology & Behavior*, 102, 317-322.
- Ruzzante, D. E. y Doyle, R. W. (1991). Rapid behavioral changes in medaka (*Oryzias latipes*) caused by selection for competitive and noncompetitive growth. *Evolution*, 4, 936-1946.
- Schaerf, T. M., Herbert-Read, J. E., Myerscough, M. R., Sumpter, D. J. T. y Ward A. J. W. (2016). Identifying differences in the rules of interaction between individuals in moving animal groups. *arXiv*, 1601.08202.
- Silva, P. I. M., Martins, C. I. M., Engrola, S., Marino, G., Øverli, Ø. y Conceição, L. E C. (2010). Individual differences in cortisol levels and behaviour of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles: Evidence for coping styles. *Applied Animal Behaviour Science*, 124 75-81.
- Ward, A., Thomas, P., Hart, P. y Krause, J. (2004). Correlates of boldness in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55, 561- 568.

**FACTORES AMBIENTALES Y SU INFLUENCIA EN EL PESO AL NACIMIENTO Y DESTETE DE BOVINOS CHAROLAIS****ENVIRONMENTAL FACTORS AND THEIR INFLUENCE ON BIRTH WEIGHT AND WEANING WEIGHT OF CHAROLAIS CATTLE**

Miranda, José. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
tinyjose30@gmail.com <https://orcid.org/0009-0008-2508-3603>

Samudio, Alice. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
mousealedice12@gmail.com <https://orcid.org/0009-0001-4417-2547>

Cedeño, Héctor. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
hector.cedenov2@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8400-4276>

Vargas, Reynaldo. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. Sistema Nacional de Investigación (SNI). Panamá
reynaldo.vargas@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

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

*Correo de Correspondencia: reggie.guerra@up.ac.pa

Recibido: 12/03/2024

Aceptado: 22/07/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6542>

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia de factores ambientales en el desempeño al nacimiento y destete de bovinos Charolais en las tierras altas de Chiriquí. Para esto se analizaron 1,880 registros productivos individuales con información de peso al nacimiento (PN) y peso al destete ajustado a 205 días (P205) de una finca ubicada en el distrito de Tierra Altas. Se utilizó un modelo mixto para determinar el efecto fijo de año de nacimiento (2004-2018), época de nacimiento (seca, lluviosa), número de partos (1,2,..7) y sexo de la cría (macho, hembra) sobre las variables PN y P205 y como efecto aleatorio la madre. En el caso del P205 se incluyó PN como covariable. Adicionalmente se evaluó el nivel de correlación entre PN y P205. Las medias obtenidas para PN y P205 fueron 35.76 y 189.18 kg respectivamente. El PN se vio afectada ($P<0.05$) por el sexo y número de parto; mientras que el P205 fue afectado ($P<0.05$) por el sexo, número de partos y la época de destete. Finalmente, se encontró un valor de correlación de +0.28 entre el PN y P205. Se concluye que los factores ambientales influyen en el comportamiento del crecimiento del ganado Charolais y deben ser considerados al momento de tomar decisiones de manejo y mejora genética en los hatos de esta raza en las condiciones de estudio.

PALABRAS CLAVE: correlación, eficiencia productiva, época, modelo mixto, sexo de la cría.

ABSTRACT. The objective of this study was to determine the influence of environmental factors on the birth and weaning performance of Charolais cattle in the highlands of Chiriquí. A total of 1,880 individual production records were analyzed, encompassing information on birth weight (BW) and weaning weight adjusted to 205 days (WW205) from a farm located in the district of Tierra Altas. A mixed-effects model was employed to ascertain the fixed effects of birth year (2004-2018), birth season (dry, rainy), parity number (1,2,..7), and calf sex (male, female) on the variables BW and WW205, with the dam considered as a random effect. In the case of WW205, BW was included as a covariate. Additionally, the level of correlation between BW and WW205 was assessed. The mean values obtained for BW and were 35.76 and



189.18 kg, respectively. BW was influenced ($P<0.05$) by sex and parity number, while WW205 was affected ($P<0.05$) by sex, parity number, and the weaning season. Finally, a correlation value of +0.28 was found between BW and WW205. It is concluded that environmental factors influence the growth performance of Charolais cattle and should be considered when making management and genetic improvement decisions in herds of this breed under the study conditions.

KEYWORDS: correlation, mixed model, offspring's sex, productive efficiency, season.

INTRODUCCIÓN

La producción alimentaria mundial tendrá que incrementarse más de un 75% en los próximos 30 años para poder hacer frente al crecimiento demográfico. En el área pecuaria, es necesario implementar prácticas con énfasis en manejo reproductivo, genético, sanitario, recursos forrajeros y contar con un sistema de evaluación del sistema de producción (Martínez *et al.*, 2012).

La producción animal realizada de manera eficiente debe incluir selección de progenitores que tengan la capacidad de transmitir características productivas de importancia económica, tal como lo son el peso al nacimiento y peso al destete (Alejo *et al.*, 2000). Para formular programas de mejoramiento genético óptimos y evaluar el progreso genético de programas en marcha, es necesario contar con estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento, teniendo en cuenta que los parámetros genéticos son específicos para cada población de ganado bovino (Ríos *et al.*, 2007).

El encontrar genotipos con una mejor respuesta en el ambiente tropical, desde el punto de vista de la eficiencia, contribuirá más fácilmente al establecimiento de un sistema de producción bovina con desarrollo sostenible, haciendo mejor uso de los recursos naturales y reduciendo al mismo tiempo la presión sobre los mismos (Vázquez, 1996). En Panamá se han realizado pocas investigaciones que determinen factores ambientales y determinen parámetros genéticos para producción de carne y leche (Araúz, 2017; Guerra-Martínez 2018; Guerra *et al.*, 2018) lo cual limita la aplicación de programas de mejora adecuados.

Según Chin *et al.* (2012), para estimar los parámetros genéticos y predecir valores genéticos confiables, los registros de comportamiento se deben corregir por los efectos ambientales, ya que estos pueden disminuir la precisión de las evaluaciones genéticas y con ello la selección de reproductores puede ser errónea.

Aumentar la eficiencia en la producción de ganado requiere la evaluación de cómo los factores ambientales pueden influir en el rendimiento genético de las vacas tanto como en las crías de estas. Además, se considera la cría en un contexto que promueva el uso sostenible de los recursos naturales y la conservación de la biodiversidad. Para mejorar los parámetros productivos, se busca complementar la gestión con prácticas genéticas que maximicen el seleccionar poblaciones aptas para cada sistema de producción (Davis *et al.*, 1994)

En Panamá se cuenta, según el INEC (2020), con un total 1,505,500 cabezas de ganado; de este total 1,020,500 de cabezas representan la actividad de cría en Panamá. Pero, a pesar de esto, una de las limitantes para lograr desarrollar evaluaciones genéticas es la falta de registros que nos



permitan visualizar el comportamiento de los animales en distintos puntos de la geografía nacional y así tomar decisiones y lograr con mayor éxito el avance genético en el país.

Por lo tanto, se planteó como objetivo determinar la influencia de factores ambientales en el desempeño al nacimiento y destete de bovinos Charolais en las tierras altas de Chiriquí.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una finca dedicada a la cría de ganado de carne, ubicada en el distrito de Tierras Altas, corregimiento de Volcán en la provincia de Chiriquí. La misma se encuentra localizada en las coordenadas 8°45'05.5" Norte y 82°40'10.3" Oeste, a una altura de 1,311 m s. n. m.

Presenta un clima definido como tropical muy húmedo donde existen dos épocas, la de lluvias (mayo a diciembre), y la de seca (enero a abril) y se reportan una temperatura que oscilan de los 22 °C hasta los 34 °C (NOAA, 2021), y precipitaciones de 3,904 mm (HIDROMET, 2021).

Para el ensayo se contó con un total de 1,880 registros individuales de animales de las razas Charolais que incluyó información genealógica y datos productivos de peso al nacimiento (PN) y peso al destete (PD), que abarcaba un espacio de tiempo entre los años 2003 y 2018.

Para delimitar las condiciones ambientales a través de los años en el estudio, se utilizó la fecha de nacimiento y de destete para evaluar el efecto del año del nacimiento (AN) y el año de destete (AD). En el caso del efecto de la época, la variable año se dividió en época seca y lluviosa de acuerdo con las condiciones ambientales predominantes (temperatura y precipitación pluvial) reportados por HIDROMET (2021) así: la época seca comprendió los meses de diciembre a abril, en tanto la época lluviosa correspondió a los meses de mayo a noviembre. Este procedimiento se realizó tanto para la época de nacimiento (EN) como la época de destete (ED).

Para evaluar el efecto de números de parto (NP), se consideraron los partos del uno hasta el siete, donde este último incluyó las vacas con siete o más partos. Se considero en el estudio el efecto del sexo de la cría (hembra o macho).

Para poder hacer comparable los resultados con la literatura científica disponible, el peso al destete se corrigió a 205 días (PDA) de acuerdo con la fórmula propuesta por la Federación del Mejoramiento de la Carne (BIF, 2002):

$$PDA = [(PD-PN)/ED]*205 + PN$$

Donde: PDA = Peso al destete corregido a 205 días

PD = Peso al destete sin corregir

PN = Peso al nacimiento

ED = Edad al destete.



El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + AN_i + EN_j + NP_k + SX_l + AN*EN + AN*NP + V_m + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde: Y_{ijklm} = es la observación de PN; μ = media general; AN_i = es el i-ésimo efecto fijo de año de nacimiento ($i = 2003-2018$); EN_j = es el j-ésimo efecto fijo de la época de nacimiento ($j =$ seca y lluviosa); NP_k = es el k-ésimo efecto fijo del número de parto ($k = 1, 2 \dots 7$); SX_l = es el l-ésimo efecto fijo de sexo de la cría ($l =$ macho o hembra); $AN*EN$, $AN*NP$, $AN*SX$ interacciones de primer orden, V_m el efecto aleatorio de la vaca y ε_{ijklm} = error aleatorio.

En un segundo modelo se analizaron los efectos con relación al peso al destete ajustado a 205 días (PDA) tomando en cuenta el PN como covariable:

$$Y_{hijklm} = \mu + R_h + AN_i + EN_j + NP_k + SX_l + AN*EN + AN*NP + AN*SX + d(X_{ij} - X) + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde: μ = media general; R_h = el h-ésimo efecto fijo de la raza ($h =$ Charolais); AN_i = es el i-ésimo efecto fijo de año de nacimiento ($i = 2003-2018$); EN_j = es el j-ésimo efecto fijo de la época de nacimiento ($j =$ seca y lluviosa); NP_k = es el k-ésimo efecto fijo del número de parto ($k = 1, 2 \dots 7$); SX_l = es el l-ésimo efecto fijo de sexo de la cría ($l =$ macho o hembra); $AN*EN$, $AN*NP$, $AN*SX$ interacciones de primer orden; V = efecto aleatorio de la vaca ($1 \dots n$), $d(X_{ij} - X)$ = efecto del peso al nacer (covariable); y ε_{ijklm} = error aleatorio.

En ambos modelos se utilizó una estructura de covarianza tipo identidad para el efecto aleatorio de la vaca y se estimaron los componentes de varianza mediante el Método de Máxima Verosimilitud Restringida (REML); además fueron eliminadas las interacciones de primer orden que no fueron significativas. En los casos en que se apreciaron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey (Cochran y Cox, 1983).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar las características analizadas en el ensayo para la raza Charolais, se pudo determinar que la media general para el PN fue de 35.76 kg, en tanto para PDA fue de 189.18 kg (Tabla 1).

Tabla 1

Peso al nacimiento (PN) y peso al destete ajustado 205 días (P205)

Característica	n	Media (kg)	CV
PN	1,771	35.77	8.83
P205	1,798	189.18	13.83

El PN es mayor que lo reportado por Silva *et al.* (2013), en la raza Charolais en el trópico seco de mexicano (29.59 kg) pero menor a los reportados por Herrera *et al.* (2018, 2021), en la misma raza (40.51 kg, 40.50 kg respectivamente) e Interian (2009), quien encontró un valor de 38.59 kg.

El peso ideal para este tipo de animales según Sánchez (2009), citado por Zabala (2017), debe ser de 43.10 a 45.36 kg. Estos resultados obtenidos se pueden deber al sistema de manejo de la finca

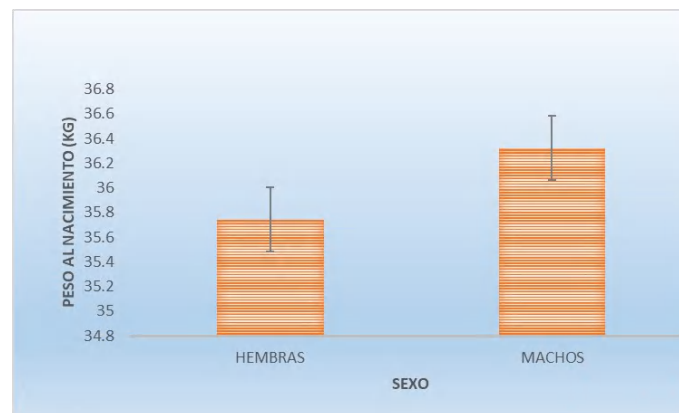
y las condiciones ambientales del área lográndose PN aceptables, con una tendencia a disminuir al pasar los años.

Por otro lado la media de PDA fue menor a los reportado por diversos autores (Interian, 2009; Silva *et al.*, 2013; Herrera *et al.*, 2021), los cuales promediaban 228.39, 217.78 y 221.99 kg respectivamente.

Cuando se evaluó la variable sexo, los resultados indicaron que hay mayor peso en los machos tanto al PN (Figura 1) como al PDA (Figura 2) siendo diferentes estadísticamente ($P < 0.05$). Numerosos estudios (Interian, 2009; Silva *et al.*, 2013, García, 2019) reportaron este mismo comportamiento en la raza Charolais, lo cual también con lo reportado por otros autores (Castillo *et al.*, 2015; Murcia, 2015) en las razas Santa Gertrudis, Simmental y Brahman.

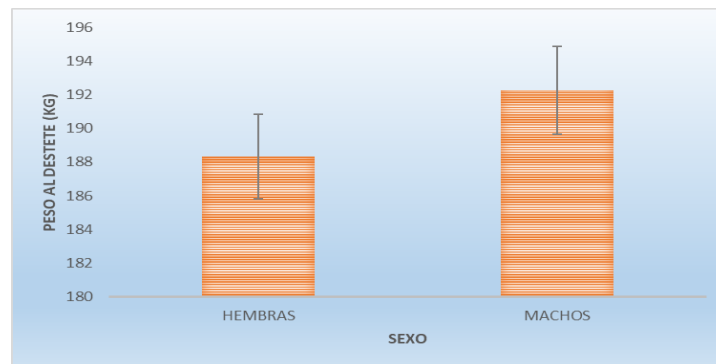
Figura 1

Medias de peso al nacimiento de las crías de acuerdo con el sexo.

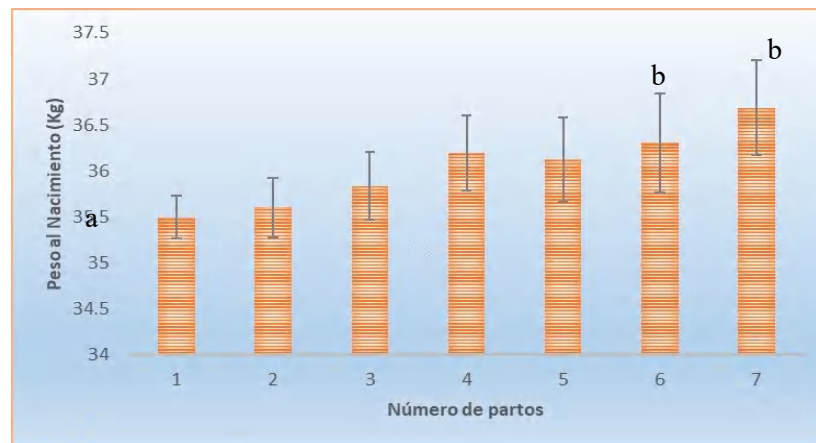


Las variaciones en el PN en machos y hembras pueden ser atribuida al dimorfismo sexual inducido por la liberación de hormonas que los machos generan desde el periodo fetal o también se puede deber a la influencia genética de parte del padre como la madre del ternero (Martínez *et al.*, 2007; Bartolomé, 2009).

En el primer caso, la explicación es la influencia de las hormonas androgénicas como la testosterona, ya que esta actúa directamente en lo que es el crecimiento óseo, reserva de grasas y masa muscular (Széchy *et al.*, 1995). Al respecto Martínez *et al.*, (2011), mencionan que la acción precoz de la testosterona en los machos determina una tasa metabólica acentuada que puede tener una influencia en el PDA (Figura 2) mayor en los machos, ya que los terneros están por entrar en la etapa de pubertad y su organismo recibe la influencia de la testosterona mostrando un mayor incremento en la masa muscular.

Figura 2*Efecto del sexo de la cría sobre el PDA*

Para la variable de número de partos se puede observar que las vacas de primer parto gestaron crías más livianas a diferencia de las vacas de seis o más partos que tuvieron crías de pesos mayores, lo cual coincide con lo reportado por Silva *et al.* (2013). Sin embargo, discrepan con los obtenidos por López *et al.* (2016), ya que estos reportan vacas de primer parto tuvieron pesos altos (39.96 kg) y los pesos de vacas de seis partos los pesos fueron similares a los números de partos inferiores. En la figura 3 se observa que los pesos más livianos fueron para aquellos terneros de vacas de primer parto con 35.49 ± 0.10 kg, en tanto la tendencia de los máximos pesos se logra en vacas de seis y siete partos (36.68 kg) encontrándose diferencias significativas ($P < 0.05$).

Figura 3*Medias de peso al nacimiento de acuerdo con el número de partos.*

^{a,b}: letras diferentes difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

El PN con relación a época de nacimiento (Tabla 2) mostró que los terneros nacidos en la época seca fueron más pesado aun cuando no se encontraron diferencias estadísticas. El resultado del presente estudio pudo deberse a que en la época seca la disponibilidad de forraje en esta área no es tan variable y en la época seca se logra un mejor valor de materia seca a diferencia de la época



lluviosa debido al nivel de precipitación alto durante esta última; lo que contribuye a que la vaca tenga una mejor condición corporal al momento del parto.

Tabla 2

Peso al destete 205 días con respecto a la época de nacimiento.

Época	N	PDA kg
Lluviosa	1014	191.02 ± 2.49
Seca	743	189.56 ± 2.68

Wilson *et al.* (2016), menciona que el bajo consumo de nutriente en las vacas antes del parto afecta el desarrollo del feto bovino, comprometiendo así el desarrollo de la cría; caso opuesto a lo reportado por Madrigal *et al.* (2019), donde los becerros fueron más pesados en la época lluviosa. El autor atribuye este comportamiento a que el pasto en esta época es abundante y provee de más alimentos a las crías, a las madres preñadas y a las lactantes.

Por otro lado, cuando se evaluó el efecto de la época de destete con respecto al PDA (Tabla 3), se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), siendo la época lluviosa donde se destetaron los animales más pesados, estas diferencias pueden ser atribuidas a que el becerro en la época de destete ya está consumiendo forraje por sí mismo, por lo cual la suma del aporte nutricional de la leche materna y la mayor disponibilidad de pasto aumenta la disponibilidad de nutrientes para su crecimiento y por tanto hace que sea mayor el PDA.

Tabla 3

Peso al destete 205 días con respecto a la época de destete.

Época	N	PDA kg*
Lluviosa	962	192.24 ± 2.54
Seca	836	188.34 ± 2.65

* Difieren estadísticamente ($P < 0.05$)

El aporte materno de la vaca sobre el PDA tiene una gran importancia porque, según Bavera (2005), la madre no solo proporciona al ternero el ambiente materno durante la gestación, sino también durante el período de amamantamiento. Por lo tanto, la ganancia de peso del ternero al pie de la madre es un reflejo de la producción de leche de esta y de la capacidad del ternero para aprovechar los nutrientes disponibles en la leche y en la pastura.

El valor de correlación encontrado de +0.28 se encuentra bastante cercano a los valores reportados por Montes *et al.* (2008) y Ossa *et al.* (2007) en la raza Brahman (+0.26) y en la raza Romosinuano (+0.16) respectivamente así como Cienfuegos *et al.* (2006), en cruces de animales *Bos taurus* (+0.23). A diferencia de Rosales *et al.* (2004), quienes reportaron en la raza Simmental un valor de correlación de +0.73.

Esto se evidencia en el dato que se encontró de que a través de los años los PN y PDA han ido disminuyendo en el hato (Figura 4 y 5), lo cual nos indica que debe mejorarse algunas prácticas



de manejo para obtener resultados cada vez mejores, en este caso PN de acuerdo a la raza pero tendiendo a ser menores a 38.55 kg al parto para evitar distocia, y maximizando el PDA, aunado a un programa de mejora genética que considere este comportamiento.

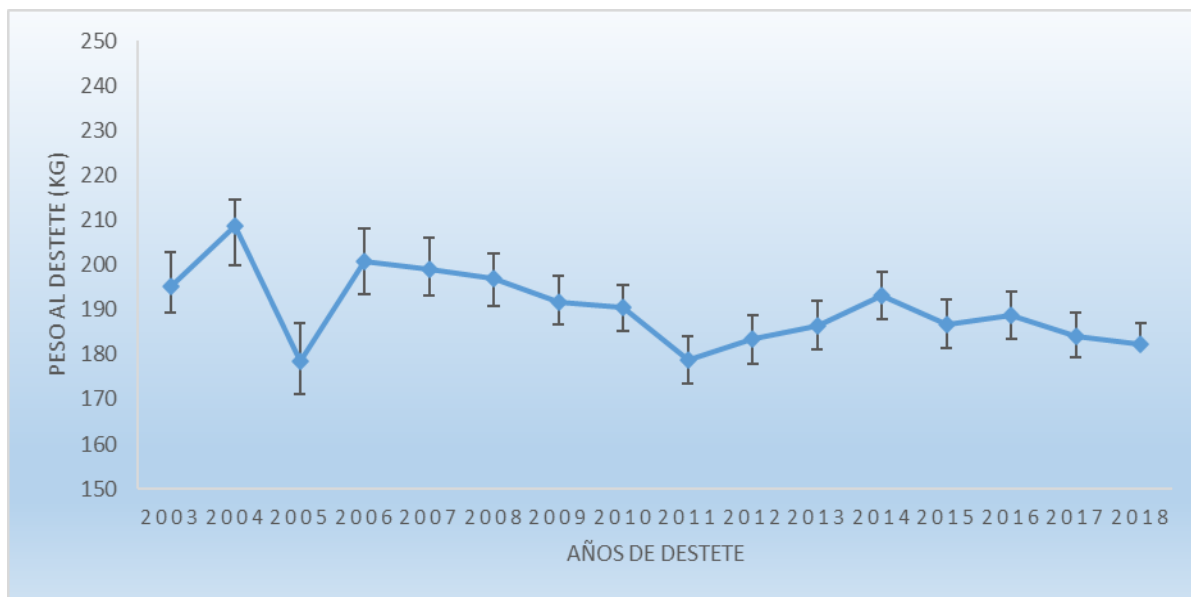
Figura 4

Evolución del peso al nacimiento en relación con el año de nacimiento.



Figura 5

Peso al destete ajustado a 205 días (PDA) con respecto al año de nacimiento.



La importancia de esto radica en que si también se da esta correlación a nivel genético, la selección basada en solo en uno de estos caracteres puede influir en la expresión fenotípica del otro (Medina *et al.*, 2005), y es bien sabido que se prefieren bajos PN para evitar partos distócicos (Martinez *et al.*, 2011). Una mala selección en este sentido puede traer consecuencias negativas que impacten en valores productivos bajos.



CONCLUSIONES

- La raza Charolais en las condiciones de estudio mostró un peso al nacimiento y al destete ligeramente inferiores a los de otras condiciones ambientales donde los factores que más influyeron en el peso al nacimiento fueron el sexo de la cría y el número de partos en tanto para peso al destete fueron el sexo de la cría, número de parto y época de destete.
- La correlación positiva entre el peso al nacimiento y el peso al destete indica que es importante considerar estos rasgos a la hora de seleccionar los reproductores para un programa de mejora genética.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los productores de las fincas que brindaron los datos de sus hatos para la realización de la investigación, así como al Sistema Nacional de Investigación de la SENACYT por el apoyo financiero y logístico para el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mortalidad Perinatal Asociado a Genotipos En Ganado de Carne. Sitio Argentino de Producción Animal, 1, 1–5. Consultado el 2 de marzo de 2023. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar
- Araúz, E. (2017). Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorrespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 Bos taurus x 2/8 Bos indicus) bajo estrés calórico en el trópico húmedo. *REDVET Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(7), 1-45.
- Bartolomé, J. (2009). Endocrinología y fisiología de la gestación y parto en el bovino. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 11(42), 20–28.
- Bavera, G. (2011). Razas bovinas continentales. Clasificación de Las Razas Bovinas y Bufalinas; Cruzamientos, 131–162. Consultado el 15 de marzo de 2023. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/a_curso_produccion_bovina_de_carne/7B-09-Capitulo-IX-Razas-Continental.pdf
- Castillo, M., López, M., Montero, A. y Soto, H. (2015). Características pre-destete de cruces genéticos de bovinos de carne en el trópico seco costarricense. *Nutrición Animal Tropical*, 9(2), 105. <https://doi.org/10.15517/nat.v9i2.21669>
- Chin, R., Magaña, J., Segura, J. y Núñez, R. (2012). Factores ambientales y proporción racial que influyen en el peso al nacimiento, al destete y edad al primer parto en bovinos suizo pardo en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(1), 55.



- Davis, K., Tess, M., Kress, D., Doornbos, D. y Anderson, D. (1994). Life cycle evaluation of five biological types of beef cattle in a cow-calf range production system: II. Biological and economic performance. *Journal of Animal Science*, 72(10), 2591–2598. <https://doi.org/10.2527/1994.72102591x>
- García, A. (2019). Evaluación de los parámetros productivos en bovinos Charolais desde el nacimiento al destete, en la Estación Experimental Pastaza de la ESPOCH. Tesis de grado: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, 108 p. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14225>.
- Guerra, R., Hernández, A. y Menéndez-Buxadera, A. (2018) Componentes de (co)varianza para producción de leche de vacas Holstein en Panamá mediante modelos de Repetibilidad y de Regresión Aleatoria. *Livestock Research for Rural Development*, 30, 18.
- Guerra-Martínez, P. (2018). Estabilidad de tres grupos raciales bovinos del sistema doble propósito en 10 ambientes de Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (28), 1-21.
- Herrera, J., Parra, G., López, N., Herrera, J. y Orozco, K. (2021). Análisis bivariado para mejorar evaluaciones genéticas con bases de datos incompletos en ganado Charolais. *Revista MVZ Cordoba*, 26(2).
- Herrera, J., Parra, G., López, N., Vázquez, J., Orozco, K., Magaña, J., Martínez, J. y Jahuey, F. (2018). Épocas de nacimiento basadas en un índice climático para el ajuste de modelos estadísticos para peso vivo de ganado bovino en México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 9(4), 646–666. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v9n4/2448-6698-rmcp-9-04-646.pdf>
- HIDROMET. (2021). Condiciones Meteorológicas de Panamá, Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.. Recuperado el 26 de junio de 2021 de <https://www.hidromet.com.pa/es/estaciones-satelitales>.
- INEC. (2020). Instituto Nacional de Estadística y Censo, Existencia de ganado vacuno en la república, por actividad principal de la ganadería, según provincia y comarca indígena: Octubre 2020. Consultado el 20 de junio de 2021. Disponible en: https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=1067yID_CATEGORIA=4yID_SUBCATEGORIA=13
- Interian, J. (2009). Comportamiento predestete de becerros charolais nacidos en diferentes periodos de la época de parto. En: Congreso de la asociación de médicos veterinarios zootecnistas especialistas en bovinos del Estado de Veracruz, Mayo 2016, 1, 117-119.
- López, R., García, R. y Ruiz, F. (2016). Fecha del primer parto y productividad de vacas Charolais en Coahuila, México. *Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 377. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.21287>
- Madrigal, M., Jorge, C. y Salas, C. (2019). Efecto del cruzamiento sobre características de



- crecimiento en ganado cebuino de la región Chorotega. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 195–207. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.32812>
- Martínez, R. A., Pérez, J. E. y Herazo, T. (2007). Evaluación fenotípica y genética para características de crecimiento en la raza criolla colombiana Costeño con Cuernos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 7(2), 12–20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol7_num2_art:65
- Martínez, J., Gutiérrez, J., Briones, F., Lucero, F. y Castillo, S. (2011). Factores no genéticos que afectan el peso al nacer y destete de terneros Angus. *Zootecnia Tropical*, 29(2), 151–159. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692011000200001
- Martínez, J., Parra, G., Garcia, F., Lucero, F. y González, A. (2012). Razas europeas para la producción de carne en el trópico seco de Tamaulipas, México. *Rev. Fac. Agron*, 38(2), 83–88.
- Medina, J., Osorio, M. y Segura, J. (2005). Influencias ambientales y parámetros genéticos para características de crecimiento en ganado nelore en México. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias de La Universidad Del Zulia*, 15(3).
- Montes, D., Vergara, O., Prieto, E. y Rodríguez, A. (2008). Estimación de los parámetros genéticos para el peso al nacer y al destete en ganado bovino de la raza brahman. *Revista MVZ Córdoba*, 13(1), 1184–1191.
- Murcia, J. (2015). Relación del peso al nacer con el peso al destete y el peso a los 18 meses en un hatillo de cría brahman en Tame Arauca. Tesis de grado: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de La Salle, 33 p. Disponible en https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/214?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fzootecnia%2F214&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- NOAA. (2021). Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA, Climate at a Glance: Global Time Series, publicado en junio de 2021, recuperado el 26 de junio de 2021. Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>.
- Ossa, G., Suarez, M. y Perez, J. (2007). Efectos del medio y la herencia sobre los pesos al nacimiento, al destete y a los 16 meses de edad en terneros de la raza criolla Romosinuano. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(2), 81–92. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945023011.pdf>
- Ríos, Á., Martínez, G., Tsuruta, S., Bertrand, J., Vega, V. y Montaña, M. (2007). Estimadores de parámetros genéticos para características de crecimiento de ganado Charolais mexicano. *Técnica Pecuaria en México*, 45(2), 121–130.
- Rosales, J., Elzo, M. y Montaña, M. (2004). Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento predestete en la población mexicana de Simmental. *Técnica Pecuaria en México*, 42(2), 171–180. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v42i2.1419>



- Silva, A., Martínez, J., Briones, F., Castillo, S. y Hernández, J. (2013). Comportamiento productivo de un hato Charolais bajo condiciones de trópico seco en Tamaulipas , México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 140–145.
- Széchy, M. L. M., Benevides, Irineu M. y Souza, L. M. (1995). Idade ao primeiro parto, intervalo de partos e peso ao nascimento de um rebanho nelore. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*, 2(2), 47–49. <https://doi.org/10.4322/rbcv.2015.022>
- Vázquez, G. (1996). La fertilidad del suelo para la producción sostenible bajo pastoreo intensivo. En: Pastoreo Intensivo en Zonas Tropicales. Primer Foro Internacional. Banco de México. FIRA. Veracruz, México de 7 al 9 de Noviembre. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68532/NR42842.pdf?sequence=1>
- Willham, R. (1972). The role of maternal effects in animal breeding. 3. Biometrical aspects of maternal effects in animals. *Journal of Animal Science* 35(6), 1288–1293. <https://doi.org/10.2527/jas1972.3561288x>
- Wilson, T., Faulkner, D. y Shike, D. (2016). Influence of prepartum dietary energy on beef cow performance and calf growth and carcass characteristics. *Livestock Science*, 184, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.12.004>
- Zabala, J. (2017). Evaluación del crecimiento de terneros charolais en la fase de lactancia sometidos a un manejo semi-intensivo en el rancho Don Bosco. Tesis de grado: Escuela Superior politécnica de Chimbazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, 75 p.

**FACTORES NO GENÉTICOS Y HEREDABILIDAD DEL PESO AL DESTETE DE OVINOS PELIBUEY EN CUBA****NON-GENETIC FACTORS AND HEREDABILITY OF WEANING WEIGHT OF PELIBUEY SHEEP IN CUBA**

*Rodríguez Castro, Manuel. Centro de Investigaciones para el mejoramiento Animal en la Ganadería Tropical (CIMAGT). Departamento de Genética y Biotecnología, Cuba.

manolo@cima-minag.cu

<https://orcid.org/0000-0003-0370-5623>

Suárez Tonco, Marco. Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez” (UNAH). Departamento Producción Animal, Facultad Medicina Veterinaria, Cuba

marcosuareztronco@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8040-6603>

*Correo de Correspondencia: manolo@cima-minag.cu

Recibido: 06/04/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6545>

RESUMEN. En la última década el crecimiento del inventario del ovino de pelo en Cuba y particularmente el Pelibuey dada su rusticidad y adaptabilidad ha favorecido su expansión a través de todo el país. El objetivo del presente trabajo fue estimar las fuentes de variación genéticas y no genéticas sobre el peso al destete (PD) y la heredabilidad (h^2). La unidad empresarial de base (UEB) Genética Siboney se dedica a la producción de animales genéticos variedad de color bermejo. La información estuvo comprendida entre los años de 2013 a 2021 e incluyó 1,314 de PD. El fichero de pedigrí estuvo constituido por 2,053 animales. Se constituyeron 29 grupos de contemporáneas (GC) conformados por la combinación año-bimestre-tipo de parto-sexo. El año y mes de nacimiento, así como el sexo de la cría fueron altamente significativos ($P<0,001$) para PD, no así el tipo de parto y el número de crías. La muestra analizada tuvo una media de 14.43 ± 3.7 kg, con 89.1 días de edad y una paridad promedio de 1.7 crías al parto. La h^2 para efecto directo aditivo fue 0.15 ± 0.08 , la materna 0.14 ± 0.04 y la correlación directa-materna -0.19 ± 0.05 . Se puede esperar mejora genética para PD y atender los efectos antagónicos con el componente materno.

PALABRAS CLAVE: componentes de varianza, , efectos maternos, parámetros genéticos.

ABSTRACT. In the last decade, the growth of the inventory of hair sheep in Cuba and particularly the Pelibuey, given its rusticity and adaptability, has favored its expansion throughout the country. The objective of the present work was to estimate the genetic and non-genetic sources of variation on weaning weight (WD) and heritability (h^2). The Genetics Unit Siboney is dedicated to the production of genetic animals of the russet color variety. The information was between the years 2013 to 2021 and included 1,314 PD. The pedigree file consisted of 2,053 animals. 29 groups of contemporaries (CG) were formed, made up of the combination of year-bimester -type of birth-sex. The year and month of birth, as well as the sex of the offspring, were highly significant ($P<0.001$) for PD, but not the type of birth and the number of offspring. The analyzed sample had an average of 14.43 ± 3.7 kg, with 89.1 days of age and an average parity of 1.7 offspring at birth. The h^2 for direct additive effect was 0.15 ± 0.08 , the maternal 0.14 ± 0.04 and the direct-maternal correlation -0.19 ± 0.05 . Genetic improvement can be expected for PD and the antagonistic effects with the maternal component can be considered.

KEYWORDS: Genetic parameters, Pelibuey sheep, variance components, maternal effects.



INTRODUCCIÓN

La raza Pelibuey, se caracteriza por su talla pequeña, su prolificidad, su rusticidad (definida como las características genéticas que ayudan al animal a sobrevivir y reproducirse en los cambios aleatorios y adversos del medio ambiente, sin disminuir demasiado su capacidad productiva) y su buena habilidad materna (Valiente, 2017). En la última década el crecimiento del inventario del ovino de pelo en Cuba, así como su distribución dentro del territorio nacional, ha sido importante.

La época más crítica en la vida de un cordero es la comprendida del nacimiento hasta el destete; por lo que es importante determinar los parámetros genéticos de los caracteres que inciden en este periodo. Así la característica de peso al destete (PD), está relacionada con los rendimientos productivos de un carnero en su función de producción de carne (Valencia *et al.*, 1975) y refleja la capacidad del individuo para aprovechar el alimento disponible y constituye además un indicativo de su habilidad para futuros periodos de ceba y al mismo tiempo la capacidad de la madre de proveer alimento a la cría durante la lactación (Carrillo y Segura, 1993). El efecto materno es ambiental con relación a la descendencia, pero las diferencias genotípicas entre las madres para el efecto materno transmitidas a sus hijas son expresadas en los valores fenotípicos de su descendencia (Willham, 1972).

En Cuba los estimados de componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para rasgos de crecimiento predestete en la raza ovina Pelibuey bajo modelo animal son escasos y resultados publicados (Ramírez, 1993) han estado basados en el método 3 de Henderson (1953). Conocer la influencia materna en el peso al destete y la correlación entre los efectos genéticos directos y maternos es fundamental para obtener estimaciones de heredabilidad precisas, lo que incrementará la exactitud de la selección de los progenitores de la siguiente generación (Elzo y Vergara, 2012).

Por tal razón, el objetivo de este trabajo fue estimar los componentes de varianza y covarianza del peso al destete utilizando un modelo que incluye los efectos maternos y estimar la heredabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración

La información utilizada, pertenece a la Unidad Empresarial de Base (UEB) Genética “Siboney” dedicada a producción de ovinos de la raza Pelibuey de la variedad bermejo en todas sus tonalidades, está ubicada en el municipio Bejucal, provincia de Mayabeque. El clima predominante es del tipo cálido tropical. Hay dos estaciones claramente definidas, el periodo poco lluvioso (invierno) de noviembre a abril, y el periodo lluvioso (verano) de mayo a octubre. La temperatura media anual es 25° C, la media en invierno es 20 °C y en verano 26 a 27 °C. La humedad relativa promedio es 80%. La precipitación media anual es 1,200 mm, con alrededor de 30% en el período invernal y 70% en el verano.



Manejo

El manejo general del rebaño consiste en pastoreo diurno las hembras con sus corderos y los machos en diferentes potreros con abundante pasto Estrella de Surinam (*Cynodon nlemfuensis*). Por la tarde se encierra el ganado regresando a las naves donde se le suministra forraje y sales minerales a libre acceso. El empadre se realiza en forma controlada, evitando la consanguinidad.

La unidad cuenta con información adecuada para el control de la producción y existen datos desde el año 2013 y entre ellos se dispone de la identificación del animal, color de la capa, tipo de parto de donde procede el animal (simple, doble, hasta quintuple), número de parto de la madre, identificación de la madre, identificación del padre, fecha de nacimiento, y peso al destete.

Análisis estadísticos

Para el análisis del peso al destete se contó con 1,314 pesajes. Primero se utilizó un modelo lineal general (SAS, 2013) para determinar la influencia de algunos factores no genéticos sobre el PD, que se describe a continuación:

$$Y_{ijklm} = \mu + AN_i + MN_j + Sk + TPl + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} es la variable dependiente PD

μ la media general común a todas las observaciones

AN_i es el año de nacimiento ($i=9$ años, 2013 a 2021)

MN_j es el mes de nacimiento ($j=11$ meses, no se incluyó el mes de mayo)

Sk es el sexo de la cría ($k=2$, macho y hembra)

TPl es el tipo de parto ($l=3$, sencillo, doble y múltiple) y

e_{ijklm} es el efecto residual común a todas las observaciones

Los datos fueron editados y analizados mediante un modelo lineal general utilizando el software SAS (2013). Para la comparación múltiple de medias se utilizó la dócima de Tukey.

Para el análisis genético se utilizó un modelo animal considerando el componente materno que en forma matricial se representa de la siguiente forma:

$$y = X\beta + Za + Wm + Spe + e$$

donde:

y = es el vector de las observaciones para PD.

β = vector de las soluciones de los efectos hijos.

a = vector de las soluciones para los efectos genéticos aditivos directos

m = vector de las soluciones de los efectos aleatorios genéticos aditivos maternos

pe = vector de efectos de ambiente permanente

e = vector de los efectos aleatorios residuales.



X, Z, W y S = son las matrices de incidencia que relacionan las observaciones a los efectos fijos, a los efectos aleatorios genéticos aditivos directos, efectos aleatorios genéticos aditivos maternos y efectos ambientales permanentes, respectivamente.

Como efectos fijos se consideraron el grupo contemporáneo (GC) dado por la combinación del año y bimestre de nacimiento-tipo de parto-sexo, además de las regresiones lineales de la edad al destete y edad de la madre al parto.

Para este modelo se asume

$$Var = \begin{bmatrix} a \\ m \\ pe \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11}A & g_{12}A & 0 & 0 \\ g_{21}A & g_{22}A & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I\sigma_{pe}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I\sigma_e^2 \end{bmatrix}$$

Donde g_{11} varianza genética aditiva directa

$g_{12} = g_{21}$ covarianza genética entre efectos directos y maternos

g_{22} varianza genética aditiva materna

σ_{pe}^2 varianza debida a efectos permanentes maternos

σ_e^2 varianza de efectos residuales

Donde el modelo de ecuaciones estará dado por:

$$\begin{bmatrix} XX & XZ & XW & XS \\ ZX & ZZ + A^{-1}\alpha_1 & ZW + A^{-1}\alpha_2 & ZS \\ WX & WZ + A^{-1}\alpha_2 & WW + A^{-1}\alpha_3 & WS \\ SX & SZ & SW & SS + I\alpha_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\mu} \\ \hat{m} \\ \hat{pe} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xy \\ Zy \\ Wy \\ Sy \end{bmatrix}$$

Con:

$$G_0^{-1} = \begin{bmatrix} g^{11} & g^{12} \\ g^{21} & g^{22} \end{bmatrix} \quad y \quad \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 \\ \alpha_2 & \alpha_3 \end{bmatrix} = \sigma_e^2 \begin{bmatrix} g^{11} & g^{12} \\ g^{21} & g^{22} \end{bmatrix} \quad y \quad \alpha_4 = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_{pe}^2}$$

Las heredabilidades para los efectos aditivos (h_a^2) y efectos maternos (h_m^2) se calcularon, así como las correlaciones genéticas entre los efectos directos y maternos (r_{am}), según las siguientes fórmulas:

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2}; \quad h_m^2 = \frac{\sigma_m^2}{\sigma_p^2}; \quad y \quad r_{am} = \frac{\sigma_{am}}{\sigma_a \sigma_m}$$

Donde $\sigma_p^2 = \sigma_a^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{am} + \sigma_e^2$

La estructura genética de la muestra analizada constó de 1,314 crías, hijos de 30 sementales y 455 reproductoras conformándose un pedigree con 2,053 animales que conformaron 23 grupos contemporáneos. Los componentes de varianza y covarianza se estimaron mediante el software MTDFREML (Boldman *et al*, 1995).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estadígrafos generales para el peso al destete se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

Estadística descriptiva para peso al destete en ovinos Pelibuey.

Media (kg)	Desviación estándar	Coefficiente variación (%)
14.44	3.1	21.3

Aunque no fue directamente objeto de estudio la muestra analizada presentó una prolificidad de 1.7 crías/ parto, considerada alta para esta raza si la comparamos con los resultados de Ramírez (1993), de 1.3 para el ovino Pelibuey en Cuba. Segura *et al.* (1996), reportaron 1.21 corderos nacidos en México. Ríos-Utrera *et al.* (2014), estudiaron ampliamente el crecimiento predestete en ovinos Pelibuey y sus cruces también en México con resultados satisfactorios, en tanto, González-Garduño *et al.* (2010) reportaron 1.27 ± 0.49 crías nacidas vivas.

La edad de las reproductoras incluidas en el análisis fue de 58.4 ± 26.7 meses (casi 5 años) con una gran variabilidad 45.7% y la edad al destete fue de 89.1 ± 7.1 días con solo 7.9% de coeficiente de variación.

El peso al destete de 14.4 ± 3.1 kg fue inferior a los reportados por Domínguez *et al.* (2014), de 17.5 kg. Cruz-Gómez *et al.* (2017), reportaron pesos al destete de 12.1 vs. 9.4 kg en función de partos simples y dobles, respectivamente, con diferencias altamente significativas entre ellos. González-Garduño *et al.* (2010), reportaron pesos al destete de solo 9.5 kg en rebaños sometidos a tres partos en dos años en Chiapas, México.

La ganancia predestete fue de 127 g/día que está en el rango de 114.1-154.5 g/día en dependencia del tipo de parto según Cruz-Gómez *et al.* (2017); en cambio González-Garduño *et al.* (2010) reportaron solamente 104 g/animal/día. Las diferencias encontradas no siempre son comparables debidos a diferentes sistemas de manejo y alimentación. Rúa *et al.* (2013), analizando la ganancia de peso en corderos Pelibuey en Colombia y en diferentes periodos, encontraron que el sexo y el mes tanto como el año influyeron sobre la ganancia de peso.

Cuando se analizaron algunos de los factores no genéticos que influenciaron el peso al destete se encontró que el año, mes de nacimiento, el sexo de la cría y el tipo de parto influyeron de forma altamente significativa (Tabla 2).

Tabla 2

Resultados del análisis de varianza para peso al destete.

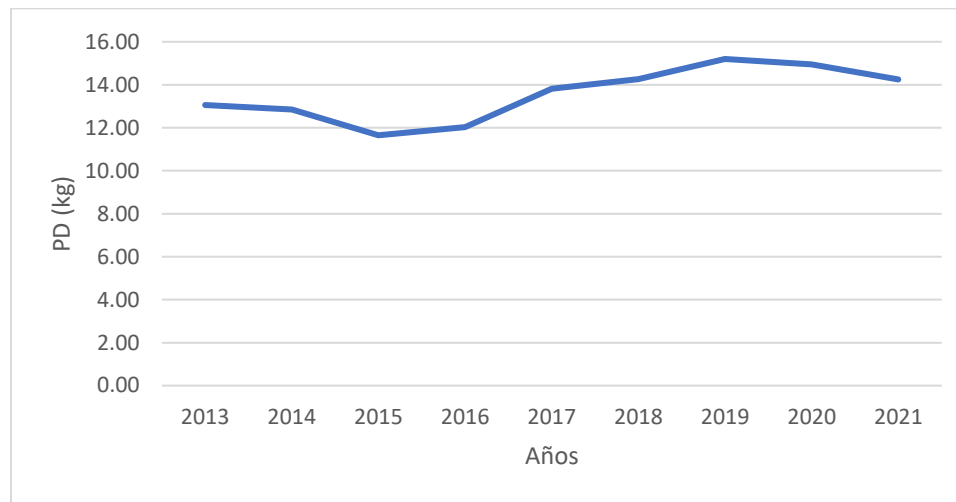
Fuentes variación	GL	CM	SIGF
Año nacimiento	8	75.41	***
Mes nacimiento	10	47.06	***
Sexo	1	160.98	***
Tipo parto	2	958.78	***

R^2 (%)=20.29. GL grados de libertad, CM cuadrado medio, SIGF significación *** (P<0.001)

En la figura 1 aparece el comportamiento para peso al destete durante el periodo analizado, demostrándose un crecimiento sostenido a partir del año 2015, debido a las mejoras introducidas en el rebaño con relación al manejo y la alimentación, así como la implementación de un programa de evaluación genética de los reproductores.

Figura 1

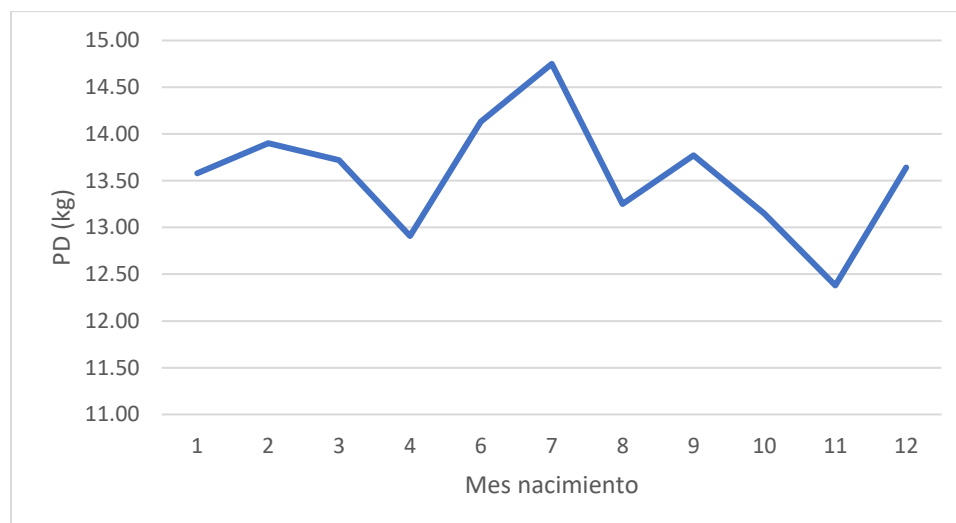
Comportamiento del PD a través del periodo analizado.



En la Figura 2 aparece el comportamiento por meses. No se dispuso de datos correspondientes a nacimientos en el mes de mayo. Se aprecia claramente que los corderos nacidos entre los meses de junio y julio, alcanzaron mayores pesos al destete y los nacidos en noviembre los peores. Estas variaciones están estrechamente vinculadas a la disponibilidad de alimentos para los animales, tanto para las madres como para las crías. Estas fluctuaciones deben tenerse en cuenta para programar las épocas de apareamiento (González-Garduño *et al.*, 2010).

Figura 2

Variaciones del PD de acuerdo con los meses de nacimiento.





Cruz-Gómez *et al.* (2017), no encontraron efecto del sexo ni de la interacción tipo de parto x sexo, en un grupo reducido de animales. En este trabajo no incluyeron las interacciones. Los efectos significativos para año y mes de nacimiento se explican por las variaciones climáticas que inciden en diferentes épocas del año que tienen que ver directamente con la calidad de los pastos, la producción de leche de la madre, entre otros. Estos autores estudiaron el tipo de parto en función de la producción de leche de las madres y el comportamiento en las crías y encontraron que la producción de leche fue superior para las hembras de parto doble, aunque los mayores pesos al destete fueron las crías procedentes de partos simples. Nuestros resultados arrojaron diferencias ($P < 0.001$) en el peso al destete para el tipo de parto, donde las crías procedentes de partos simples alcanzaron pesos al destete más altos (15.6 kg) en comparación con las de partos dobles (13.1 kg), aunque éstos últimos no difirieron de los partos triples (12.0 kg) que además fueron superiores a los reportados por Cruz-Gómez *et al.*, (2017).

Ruales *et al.* (2007), definen la evaluación genética como una herramienta que permite predecir el valor genético de los animales para una o más características de interés. Su objetivo es identificar genéticamente los animales existentes en una población y así seleccionar como reproductores aquellos con el mayor mérito genético y descartar los peores.

Para el análisis genético se analizaron 1,300 animales que generaron 1,783 animales en el pedigrí con 23 grupos contemporáneos con al menos 5 hijos de más de un semental. El 73.3% de los padres representados tuvieron datos, así como el 93.4 % de las madres. El número promedio de hijos por padre fue de 43.4. La información disponible no fue voluminosa, pero la mayoría de los padres y madres tuvieron información y estructura adecuada.

Los componentes de (co)varianza aparecen en la tabla 3.

Tabla 3

Estimados de heredabilidad directa, materna y correlación directa-materna para peso al destete.

Componentes de co(varianza)	Peso al destete
σ^2_d	1.35
σ^2_m	1.29
σ^2_e	6.89
σ^2_p	9.29
Cov(dm)	-0.25
h^2_d	0.15 ± 0.08
h^2_m	0.14 ± 0.04
r(dm)	-0.19 ± 0.05

Nota: σ^2_d (varianza aditiva directa); σ^2_m (varianza aditiva materna); σ^2_e (varianza residual); σ^2_p (varianza fenotípica); Cov(dm) (covarianza directa-materna); h^2_d (heredabilidad aditiva directa); h^2_m (heredabilidad aditiva materna); r(dm): correlación directa-materna.



La heredabilidad se considera el principal parámetro genético en un programa de mejoramiento genético, ya que determina la variación genética aditiva de los caracteres de importancia económica y son imprescindibles para un programa de mejoramiento genético (Ruales *et al.* 2007).

Pérez-Palencia (2017), en 4 razas ovinas en Colombia estimó heredabilidades entre 0.03 a 0.98 en PD para efecto directo, mientras que Menéndez-Buxadera *et al.* (2004), en la raza Merino española analizando el peso a 60 y 75 días la heredabilidad para efecto directo osciló entre 0.19-0.20 y para efecto materno fue de 0.13 en ambos momentos y la correlación directa-materna varió de -0.34 a -0.38, respectivamente.

Zamani y Mohammadi (2008), en la raza Mehraban en Irán reportaron valores inferiores a los resultados obtenidos en este trabajo. López-Ordaza *et al.* (2012), en ovinos de la raza Chiapas en México encontraron valores similares, para efecto directo, aunque ligeramente inferiores para el efecto materno (0.14 ± 0.09 y 0.09 ± 0.08 ; respectivamente). Por otra parte, Boujenane *et al.* (2015), estimaron la heredabilidad para animales del tipo racial N'dama, para peso a los 90 días, obteniendo valores, 0.08 ± 0.03 , para efecto directo, que se corresponden con una heredabilidad baja e inferiores a los encontrados en este estudio. En otros tipos raciales de ovejas de pelo reportados por Miraei-ashtiani *et al.* (2007) y Matika *et al.* (2003) en los tipos raciales Sangsari y Sabi reportaron valores de 0.17 ± 0.05 y 0.13 ± 0.04 respectivamente, que son valores de heredabilidad similares a los obtenidos en el trabajo actual. Estos resultados bastante coincidentes presuponen que la heredabilidad para peso al destete se puede considerar alrededor de 0.20, valor que permite la mejora genética mediante la selección.

El hecho tradicionalmente existente de cierto antagonismo entre los efectos directos y maternos es conocido en la literatura. Lewis y Beatson (1999) sugiere que la correlación negativa alta entre efectos aditivos directos y maternos pueden deberse a la ausencia de efectos de semental-hato o de semental-año en el modelo y a otras limitantes de la estructura de datos. Resultados parecidos son mencionados por distintos autores, llegando a la conclusión que la heredabilidad directa se sobrestima cuando los efectos maternos no se toman en cuenta.

Los valores genéticos para efecto directo variaron de -0.96 a 1.60 y para efecto materno de -0.72 a 0.52, solo el 27.2% de los animales tuvieron valores positivos para efecto directo.

CONCLUSIONES

De las fuentes de variación estudiadas el año y mes de nacimiento, así como el sexo influyeron significativamente el peso al destete, no así el tipo de parto y el número de crías por parto.

La heredabilidad directa para peso al destete permite la mejora genética por selección, pero debe tenerse en cuenta el antagonismo entre efectos directos y maternos, lo que implica una contribución genética importante de las madres en las crías hasta el destete.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boldman, K. G., Kriese, L. A., Van Vleck, L. D., Van Tassell, C. P., & Kachman, S. D. (1995). A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances. US Department of Agriculture, *Agricultural Research Service*, 114.
- Boujenane, I., Chikhi, A., Ibelbachyr, M., & Mouh, F. Z. (2015). Estimation of genetic parameters and maternal effects for body weight at different ages in D'man sheep. *Small Ruminant Research*, 130, 27-35.
- Carrillo, L. y Segura, J.C. (1993). Environmental and genetic effects on preweaning growth performance of hair sheep in México. *Tropical Animal Health and production*. 25: 131-136.
- Cruz-Gómez, M., Mezo Solís, J. A., Cruz Sánchez, O. E., García-Herrera, R. A., Mendoza-González, A., López Duran S. K. y Chay-Canul, A. J. (2017). Comportamiento productivo predestete de ovejas y corderos Pelibuey. XI Seminario Internacional de Producción de Ovinos en el Trópico. Villahermosa, Tabasco, México del 8 al 10 de noviembre. pp 25.
- Domínguez-Viveros, J. y Rodríguez-Almeida, F.A. (2014). Evaluaciones Genéticas en Ovinos. Catálogo de sementales de alto valor genético 2013. Universidad Autonoma de Chihuahua. 143p.https://www.researchgate.net/profile/Joel-Viveros/publication/301766362_Catalogo_de_Sementales_de_Alto_Valor_Genetico_2016_Evaluaciones_Geneticas_en_Ovinos_Organismo_de_la_Unidad_Nacional_de_Ovinocultores/links/5726904108aef9c00b88fb1b/Catalogo-de-Sementales-de-Alto-Valor-Genetico-2016-Evaluaciones-Geneticas-en-Ovinos-Organismo-de-la-Unidad-Nacional-de-Ovinocultores.pdf.
- Elzo, M. A. y Vergara Garay, O. D. (2012). Modelación aplicada a las ciencias animales: II. Evaluaciones Genéticas. Medellín, Colombia: Editorial Biogénesis, 134 pp.
- González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., & Arece-García, J. (2010). Comportamiento productivo y reproductivo de ovinos Pelibuey en un sistema de pariciones aceleradas con tres épocas de empadre al año. *Zootecnia Tropical*, 28(1), 51-56.
- Henderson, C. R. (1953). Estimation of variance and covariance components. *Biometrics*, 9, 226-252.
- Lewis, R. M., & Beatson, P. R. (1999). Choosing maternal-effect models to estimate (co) variances for live and fleece weight in New Zealand Coopworth sheep. *Livestock Production Science*, 58(2), 137-150.
- López-Ordaz, R., Olivera-Vega, I., Berruecos Villalobos, J. M., Peralta-Lailson, M., Ulloa-Arvizu, R., & Vásquez Peláez, C. G. (2012). Parámetros genéticos de pesos al nacer y al destete en ovinos de raza criolla de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(1), 113-123.
-



- Matika, O., van Wyk, J.B., Erasmus, G.J. y Baker, R.L. (2003). Genetic parameter estimates in Sabi sheep. *Livestock Production Science*, 79:17-28.
- Menéndez-Buxadera A., Serradilla, J. M., Valera, M. y Molina, A. (2004). Estimación de parámetros genéticos del peso vivo en los primeros 75 días de edad en ovino Merino español. *ITEA*, 100(3), 134-140.
- Miraei-ashtiani, S.R., Ahmad Seyed, S.R. y Shahrabak, M.M. (2007). Variance components and heritabilities for body weight traits in Sangsari sheep, using univariate and multivariate animal models. *Small Ruminant Research*, 73, 109–114. doi: 10.1016/j.smallrumres.2006.12.002.
- Pérez Palencia, J. O. (2017). Estimación de parámetros genéticos de las razas ovinas Romney Marsh, Hampshire, Katahdin y Santa Inés en Colombia. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). 106pp.
- Quiroz Valiente, J. (2017). Importancia del rescate genético del ovino Pelibuey. XI Seminario Internacional de Producción de Ovinos en el Trópico. Villahermosa, Tabasco, México del 8 al 10 de noviembre de 2017. pp 11.
- Rios-Utrera, A., Calderón-Robles, R., Lagunes-Lagunes, J. y Oliva-Hernandez, J. (2014). Ganancia de peso predestete en corderos Pelibuey y sus cruces con Blackbelly, Dorper y Katahdin. *Nova Scientia*. 6:272-286.
- Rua, C.V., Arboleda, E.M. y Cardona, H. (2013). Ganancias de peso en ovinos de la raza Pelibuey. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 399.
- Ruales, F. R., Manrique, C., & Cerón, M. F. (2007). Fundamentos en mejoramiento animal. Medellín: L Vieco e Hijas Ltda.. <https://isbn.cloud/9789588286327/fundamentos-en-mejoramiento-animal/>
- SAS (2013). User's Manual of Statistical Analysis System (SAS) (Version 9.4). Cary, NC.
- Segura, J. C., Sarmiento, L., & Rojas, O. (1996). Productivity of Pelibuey and Blackbelly ewes in Mexico under extensive management. *Small Ruminant Research*, 21(1), 57-62.
- Valencia, M.; Castillo, H. y Berruecos, J. M. (1975). Reproducción y manejo del borrego Tabasco o Pelibuey. *Técnica Pecuaria en México*. 29: 66-72.
- Willham, R. L. (1972). The role of maternal effects in animal breeding: III. Biometrical aspects of maternal effects in animals. *Journal of Animal Science*, 35(6), 1288-1293.DOI: 10.2527/jas1972.3561288x.
- Zamani, P., & Mohammadi, H. (2008). Comparison of different models for estimation of genetic parameters of early growth traits in the Mehraban sheep. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 125(1), 29-34.



EFFECTO DE LA OFERTA DE LECHE EN ORDEN CRECIENTE/DECRECIENTE SOBRE EL CRECIMIENTO DE TERNERAS JERSEY

EFFECT OF MILK SUPPLY IN INCREASING/DECREASING ORDER ON THE GROWTH OF JERSEY CALF

Rodríguez, Fiorella. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.
fiore.sofia.rodriguez.quesada@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1450-0490>

*Castillo-Umaña, Miguel. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.
miguel.castillo.umana@una.cr <https://orcid.org/0000-0001-8114-744X>

Alpizar-Naranjo, Andrés. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.
andres.alpizar.naranjo@una.cr <https://orcid.org/0000-0002-9612-4918>

Grajales-Cedeño, Joseph. Universidad de Panamá, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência animal, Jaboticabal, UNESP, SP, Brasil.
joseph.grajales@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-1021-3945>

*Correo de Correspondencia: miguel.castillo.umana@una.cr

Recibido: 14/06/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6546>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de dos métodos de alimentación láctea en terneras Jersey. El experimento se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, en Costa Rica, utilizando 16 terneras distribuidas en dos tratamientos. Uno de los tratamientos consistió en suministrar 4 litros de leche por día (CONV, n=8), mientras que el otro siguió el esquema de oferta de leche de forma creciente/decreciente (C/D, n=8), con variaciones semanales en la cantidad de leche administrada. Se evaluaron indicadores de consumo de nutrientes, productivos, sanitarios y económicos. Las terneras alimentadas con el método C/D alcanzaron mayores pesos corporales ($P<0.05$) a partir de la cuarta semana, con una mayor ganancia diaria de peso y estatura en comparación con el tratamiento convencional (CONV), a pesar de importantes variaciones individuales. Asimismo, las terneras C/D presentaron un menor puntaje fecal en la sexta semana, lo que indica una menor incidencia de diarrea ($P<0.05$). No se registraron mortalidades en ningún tratamiento. Además, el costo por kilogramo de ternera destetada fue menor en el grupo C/D (3.44 USD) en comparación con el grupo CONV (3.83 USD). En conclusión, el método C/D mejoró desempeño productivo, la salud y la eficiencia económica de las terneras, aunque la variabilidad individual en el consumo de alimentos fue un factor importante a considerar en la implementación de estrategias de manejo y nutrición.

PALABRAS CLAVE: bienestar animal, crecimiento, jersey, plano de nutrición, ternera lechera.

ABSTRACT. The objective of this study was to compare the effects of two milk-feeding methods on Jersey heifers. The experiment was conducted at the Santa Lucía Experimental Farm of the National University in Costa Rica using 16 heifers distributed across the two treatments. One treatment involved providing 4 liters of milk per day (CONV, n=8), while the other followed an increasing/decreasing milk offer scheme (C/D, n=8), with weekly variations in the amount of milk administered. Indicators of nutrient intake, productivity, health, and economic factors were evaluated. Heifers fed using the C/D method achieved higher body weights ($P<0.05$) starting from the fourth week, with greater daily weight gain and height than the conventional treatment (CONV), despite significant individual variations. Additionally, C/D heifers exhibited a lower fecal score in the sixth week, indicating a reduced incidence of diarrhea ($P<0.05$). No mortality was recorded in either of the treatment groups. Furthermore, the cost per kilogram of weaned heifers was lower in the C/D group (3.44 USD) compared to in the CONV group (3.83 USD). In conclusion, the C/D method improved productive performance, health, and economic efficiency of heifers, although individual variability in feed intake was an important factor to consider when implementing management and nutrition strategies.

KEYWORDS: animal welfare, growth, jersey, nutrition plan, dairy calf.

INTRODUCCIÓN

Los beneficios de alimentar a los terneros con mayores ofertas de leche están siendo cada vez más reconocidos por los productores, sin embargo, su aplicación en las propiedades lecheras todavía es escasa, debido a la complejidad de los factores que influyen en la toma de decisiones de las explotaciones (Svensson *et al.*, 2023). Actualmente, una amplia cantidad de investigaciones han demostrado las implicaciones de la nutrición temprana en la supervivencia y productividad futura de las novillas (Soberon *et al.*, 2012; Ahmadi *et al.*, 2022).

En la industria láctea tradicionalmente, las terneras son criadas con la adopción de programas de alimentación con leche o sustituto lácteo comúnmente denominados sistemas convencionales (Jasper y Weary, 2002), en donde se oferta una cantidad de leche restringida que normalmente oscila de 8 a 10% del peso corporal al nacer (3-6 L/d de forma constante hasta el destete). Sin embargo, esto perjudica el bienestar de los animales, en virtud de la presencia de hambre, demostrado por visitas no recompensadas y rápido consumo de leche (De Paula Vieira *et al.*, 2008; Rosenberger *et al.*, 2017), además de retrasar en el crecimiento y afectar el desarrollo de órganos (glándulas intestinales y mamarias), (Geiger *et al.*, 2016; Soberon y Van Amburgh, 2017).

En función de lo antes descrito surgieron otras alternativas con oferta de leche o sustituto lácteo (Azevedo *et al.*, 2023) como la oferta de leche *ad libitum* (Jasper y Weary, 2002; De Paula Vieira *et al.*, 2008), la alimentación con reducción de los volúmenes de leche (Khan *et al.*, 2007 a, b), programas de nutrición intensificada (Stamey *et al.*, 2012) o planos de nutrición líquida acelerada (Jafari *et al.*, 2020; Molenaar *et al.*, 2020; Rosadiuk *et al.*, 2021; Ivemeyer *et al.*, 2022) entre los cuales existen dos opciones; siendo una de ellas aumentar la concentración de dieta líquida con sólidos totales mayores a 12,5% y otra aumentar el contenido tanto de sólidos totales como el volumen de leche o sustituto lácteo simultáneamente (Chapman *et al.*, 2016). Sin embargo, una de las problemáticas de estos programas con ofertas de altos volúmenes de leche de forma constante, es el bajo consumo de concentrado, lo cual es fundamental para el desarrollo ruminal de los becerros y para un mejor desempeño productivo pre y post destete (Quigley *et al.*, 2018).

Como alternativas a estas problemáticas surgen métodos de ofertas de volúmenes de leche, conocidos como métodos step-up/step-down (Terré *et al.*, 2006, 2007; Omid-Mirzaei *et al.*, 2015; Ahmadi *et al.*, 2022; Valehi *et al.*, 2022), cuyo fundamento es aumentar las dosis de leche gradualmente hasta que se alcanza la cantidad máxima a mitad del periodo de alimentación (4 semanas) para luego reducir las cantidades escalonadamente hasta los niveles más bajos en la última semana antes del destete con la intención de incrementar el consumo de concentrado, lo cual impacta positivamente en un mejor desarrollo ruminal además de mejor desempeño productivo (Omid-Mirzaei *et al.*, 2015).

Actualmente, pocas investigaciones se han realizado en Costa Rica sobre este tema en particular, y en el caso de la raza Jersey, la cantidad de estudios disponibles es limitada. Nuestra hipótesis se centra en la idea de que la administración de una dieta líquida con volúmenes de leche que varían de manera gradual (creciente y decreciente) podría tener un impacto positivo en el crecimiento, desarrollo y la salud de las terneras, en comparación con el método convencional, por lo que el objetivo de este estudio fue comparar los efectos de la cantidad de leche de un método

convencional (4 L/d) versus una oferta de leche con orden crecente/decreciente (C/D) sobre el desempeño, crecimiento y salud de terneras Jersey.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional ubicada en el distrito de Santa Lucía del cantón de Barva de Heredia. Ésta se encuentra localizada a 10° 1'30.36"N, 84° 6'43.36"O con una elevación de 1267 msnm. La finca se caracteriza por encontrarse en la zona de vida bosque húmedo premontano (INDER, 2016), con una temperatura media anual de 20.2 °C, con mínimas de 15.3 °C y máximas de 25.0 °C, humedad relativa 81.0 % y precipitación anual de 201.5 mm (IMN, 2018).

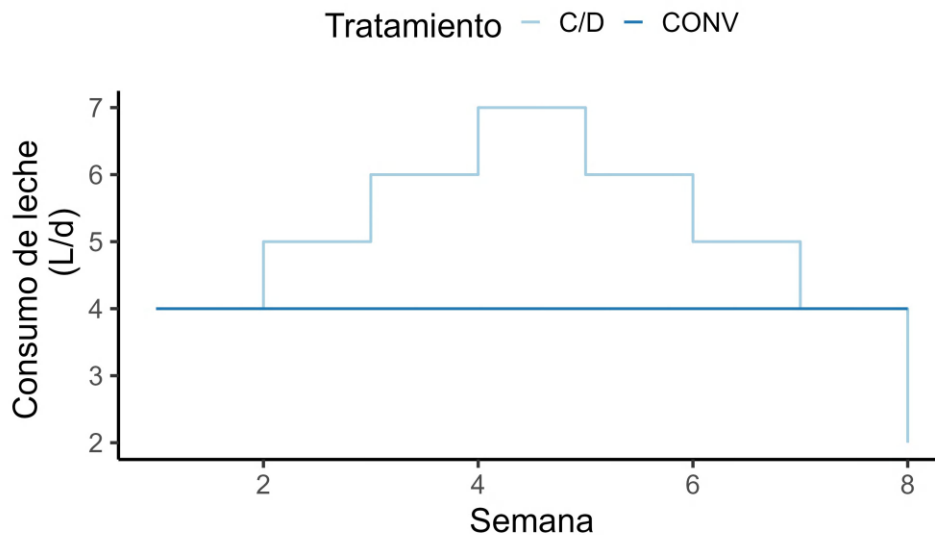
Animales y condiciones de alojamiento

Se utilizaron 16 terneras de raza Jersey, con un peso al nacimiento de 29.27±3.25 Kg. Durante los primeros tres días de vida, las terneras permanecieron en el área de maternidad junto a sus madres durante las 24 horas del día, recibiendo calostro como única fuente de alimento. Posteriormente, fueron separadas de sus madres y alojadas individualmente en cunas área de 3.3 m² por animal. Estas cunas estaban provistas de una cama de viruta de madera, la cual se renovaba cada semana para garantizar un entorno limpio y confortable.

Las terneras fueron distribuidas de manera aleatoria en dos tratamientos. El primer grupo, designado como C/D (n=8), recibió un régimen de alimentación con oferta de leche en cantidades crecientes y decrecientes. Este tratamiento consistió en la administración diaria de 4, 5, 6, 7, 6, 5, 4, 3 y 2 litros de leche durante las semanas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, respectivamente, lo que sumó un total de 273 L a lo largo del periodo experimental. El segundo grupo, denominado CONV (n=8), recibió una cantidad constante de 4 litros de leche por día durante las 8 semanas, alcanzando un total de 224 L. Los detalles del esquema de alimentación se ilustran en la figura 1.

Figura 1

Esquema representativo de la oferta de leche suministrada a las terneras según los tratamientos evaluados durante el periodo experimental.



Ambos grupos de terneras fueron alimentados mediante la administración de leche en dos tomas diarias, utilizando biberón: una en la mañana a las 08:00 horas y otra en la tarde a las 16:00 horas. El proceso de destete se realizó a las 8 semanas de vida (56 días).

Adicionalmente, se proporcionó a las terneras una dieta sólida compuesta por un concentrado peletizado y heno (*Digitaria decumbens* Stent., cv. Transvala) cuyo perfil nutricional se presenta en la Tabla 1. El suministro de agua fue *ad libitum*, asegurando su disponibilidad continua a lo largo del experimento.

Tabla 1

Composición bromatológica de la dieta sólida ofrecida durante el estudio.

Alimento	MS %	PC %	FND %	FDA %	FC %	EE %	ED Kcal	Ce %	Ca %	P %
Concentrado	87	20	-	-	8	5	3275	-	0.5	0.45
Heno	82.6	2.8	61.4	43.3	-	-	2050	7.8	-	-

Nota: MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; FND: Fibra neutro detergente; FDA: Fibra detergente ácido; FC: Fibra cruda; EE: Extracto etéreo; ED: Energía digestible; Ce: Cenizas totales; Ca: Calcio; P: Fósforo.

Variables para evaluar

Consumo de alimento sólido

El consumo de alimento sólido, que incluye concentrado y heno, fue medido diariamente en cada tratamiento y para cada animal. Para estas mediciones, se utilizó una balanza (marca SACO,

precisión \pm 20 g). A cada ternera se le ofreció un kilogramo de alimento sólido, y luego de 24 horas se pesó la cantidad restante. La diferencia entre el peso inicial y el final se utilizó para determinar el consumo de alimento sólido diario. Con estos valores se determinaron los consumos de materia seca total y nutrientes en cada tratamiento, los cuales fueron contrastados con los requerimientos nutricionales según la NRC (2001) para estos animales.

Peso y crecimiento

Semanalmente, se registraron el peso corporal, la altura a la cruz y la altura a la cadera de cada ternera. El peso se midió mediante una balanza electrónica (marca TRU-TEST, precisión \pm 100 g) y las alturas con una regla de medición (marca Fiber-Glass, precisión \pm 1.0 mm). Para el pesaje, las terneras fueron colocadas individualmente en la balanza electrónica hasta obtener el valor correspondiente. Las mediciones corporales se realizaron siguiendo la metodología descrita por Khan *et al.* (2007b), con especial atención a la altura de la cadera y la cruz.

Salud

Se registró diariamente los escores de heces para la detección de la incidencia de diarreas. Para ello, se adaptó la metodología propuesta por McGuirk (2008), donde los escores de heces se clasificaron en: 0= consistencia normal (firme, de color parduzco, perineo y cola limpios y secos), 1= Pastosas (semi-formada), 2= Pastosa con mayor contenido de agua (permanece en la cama; con adherencia de heces al perineo y cola) y 3= líquida (contenido fecal acuoso adherido al perineo y la cola).

Análisis económico

Se llevó a cabo un análisis económico desde el nacimiento hasta los dos meses de edad para cada uno de los tratamientos, mediante un registro detallado de todos los costos asociados a la crianza de los animales. Estos costos incluyeron: cantidad de litros de leche, kilogramos de alimento balanceado, kilogramos de heno, mano de obra (calculada en función del salario base publicado por el Ministerio de Trabajo en el segundo semestre de 2019), depreciación de activos y gastos veterinarios. Los costos de cada tratamiento se expresaron en dólares.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el software R con el entorno de desarrollo integrado RStudio [R versión 4.3.0 (2023-04-21), RStudio, Inc.]. En todas las pruebas estadísticas realizadas se consideró diferencias significativas cuando $P \leq 0.05$ y tendencia cuando $P > 0.05$ y ≤ 0.10 .

Para investigar el efecto de posibles asociaciones entre variables de crecimiento con consumo de los animales se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Se consideraron asociaciones significativas cuando el valor de carga fue $\geq 0,50$ o $\leq -0,50$. El número óptimo de componentes principales a ser retenidos se determinó a través del análisis paralelo de Horn (Preacher y MacCallum, 2003).

Las variables de consumo de alimentos (concentrado, heno), consumo de nutrientes (materia seca, proteína curda, energía metabolizable), así como variables de crecimiento (estatura a la cruz y cadera) y desarrollo (peso y ganancia diaria de peso) fueron analizadas mediante modelos lineales mixtos a través del paquete “lme4” (Bates *et al.*, 2022). Para todas las variables antes descritas fueron utilizados los tratamientos, semanas de evaluación, así como su interacción como efectos fijos y el animal como efecto aleatorio.

El score de incidencia de diarreas fue evaluado a través modelos mixtos lineales generalizados (glmer) ajustado por distribución de Poisson, considerando como efectos fijos el tratamiento, semanas de evaluación, así como su interacción; y el animal como efecto aleatorio.

El mejor ajuste de los modelos adoptados para el análisis se realizó empleando el procedimiento 'step-up' con el Criterio de Información de Akaike y el Criterio de Información Bayesiano. Los supuestos de normalidad de los errores residuales en los modelos adoptados se realizaron con la prueba de Shapiro Wilks y el gráfico de cuantil-cuantil normal ('qqnorm{stats}') e histograma ('hist{stats}').

Se realizaron múltiples comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey y los resultados se reportan como medias ajustadas y errores estándar para cada tratamiento a lo largo de las semanas y en algunos casos se utilizaron gráficos para representar los datos según el caso.

RESULTADOS

Análisis de componentes principales

El análisis paralelo de Horn sugirió apenas la retención de tres componentes principales que en conjunto explicaron 77.98 de la varianza de los datos, siendo el PC 1 el más importante, explicando el 47.79 de la varianza total de los datos (Tabla 2), seguidos del PC 2 y PC3, los cuales explicaron 17.22 y 12.97 de la varianza respectivamente.

En el PC 1, el peso, estatura a la cruz, estatura a la cadera, consumo de concentrado y de heno estaban directamente asociados entre sí, con variación entre individuos entre los tratamientos (Figura 1). En el PC 2 las variables GDCRUZ, GDECAD y consumo de leche mostraron altos valores de carga positivos (Figura 1) y el PC 3 fue caracterizado por consumo de leche y ganancia diaria de peso (GDP), ambas variables asociadas entre sí (Tabla 2).

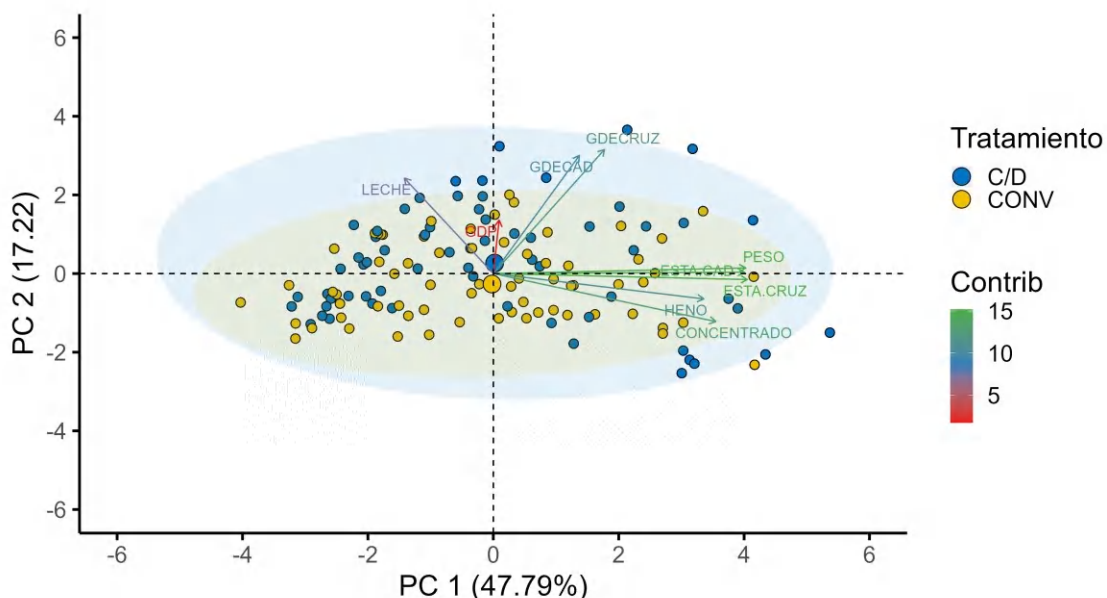
Tabla 2

Valores de carga, autovalores y varianza en variables de crecimiento, consumo de concentrado, heno y leche en terneras Jersey del tratamiento (C/D: volúmenes de dieta líquida con orden creciente/decreciente e CONV: volumen de dieta líquida de 4 litros por día) con base en el análisis de componente principales.

Ítem	PC 1	PC 2	PC 3
Peso corporal	0.94	0.03	-0.18
Ganancia diaria de peso (GDP)	0.02	0.32	-0.77
Estatura a la cruz (ESTA.CRUIZ)	0.94	-0.04	-0.08
Ganancia diaria de estatura a la cruz (GDECRUIZ)	0.41	0.73	0.26
Estatura a la cadera (ESTA.CAD)	0.93	0.01	-0.10
Ganancia diaria de estatura a la cadera (GDECAD)	0.32	0.70	0.46
Consumo de concentrado	0.83	-0.28	0.02
Consumo de heno	0.78	-0.15	-0.07
Consumo de leche	-0.33	0.56	-0.50
Autovalores	4.3	1.54	1.17
Varianza (%)	47.79	17.22	12.97

Figura 2

Gráfico biplot en variables de crecimiento, consumo de concentrado, heno y leche de 18 terneras Jersey del tratamiento C/D: volúmenes de dieta líquida con orden creciente/decreciente e CONV: volumen de dieta líquida de 4 litros por día para el primer y segundo componente principal (PC1 y PC2). Los círculos más pequeños indican variación individual, los círculos más grandes representan el centroide. Las elipses indican la concentración de los datos, las flechas indican los vectores de cada una de las variables con sus contribuciones.



Consumo de concentrado, heno y nutrientes

El consumo de concentrado mostró efecto significativo de la interacción entre el tratamiento y las semanas evaluadas ($P < 0.001$), siendo que las terneras del tratamiento CONV consumieron mayores cantidades de concentrado las semanas 5 y 6 en comparación con las del tratamiento C/D ($P < 0.05$; Tabla 3). Sin embargo, al destete (semana 8) las terneras del tratamiento O/D alcanzaron un mayor consumo de concentrado que las de CONV ($P < 0.05$; Tabla 3). El consumo de concentrado en los animales C/D aumentó significativamente a partir de la quinta semana de vida ($P < 0.05$). Entre tanto, en los animales CONV el consumo incremento significativamente a partir de la cuarta semana ($P < 0.05$; Figura 2).

Con relación al consumo de heno, no hubo diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) ni tampoco de la interacción entre tratamiento y semanas ($P > 0.05$). Sin embargo, el consumo de heno difirió a lo largo de las semanas ($P < 0.001$), en donde las terneras de ambos tratamientos aumentaron significativamente ($P < 0.05$) el consumo de heno a partir de la cuarta semana de vida (Tabla 3).

Tabla 3

Media ajustada \pm error estándar del consumo semanal de concentrado, heno (Kg MS/día), materia seca (Kg), proteína (PC, Kg) y energía metabolizable (EM, Mcal/Kg) en terneras Jersey del tratamiento C/D= orden creciente y decreciente de leche y CONV= convencional.

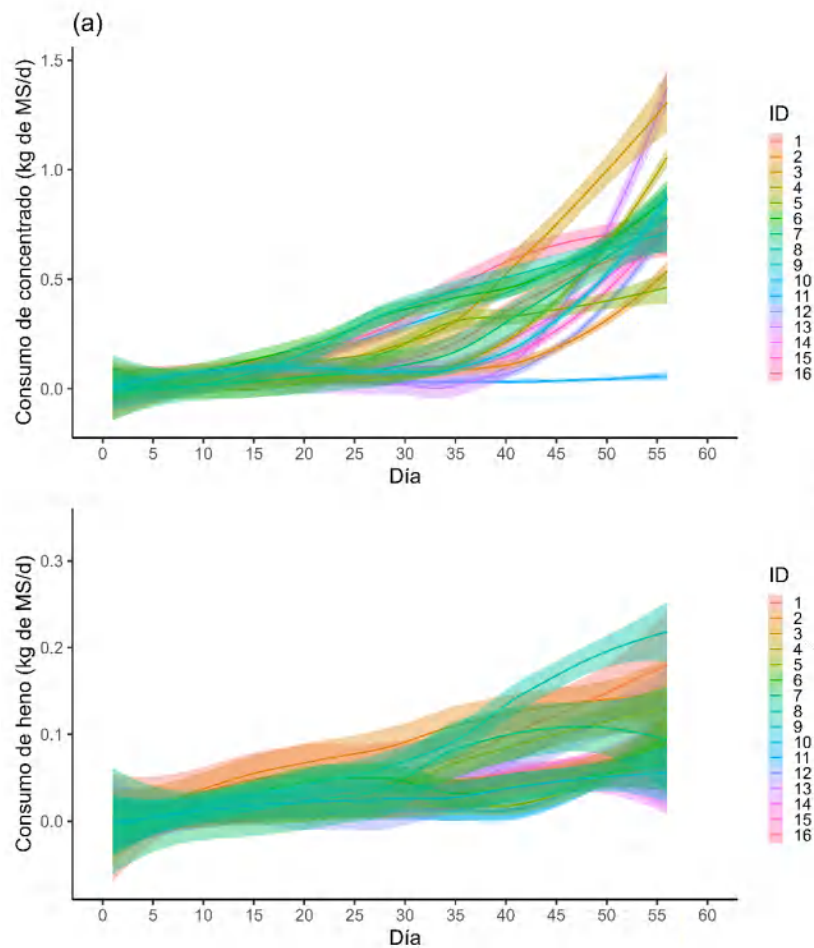
Tratamiento	Semanas								SEM	p-valor
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Consumo de concentrado (Kg de MS/d)										
C/D	0.01 ^{Ae}	0.06 ^{Ade}	0.06 ^{Ade}	0.07 ^{Ade}	0.10 ^{Bd}	0.20 ^{Bc}	0.42 ^{Ab}	0.80 ^{Aa}	0.04	<0.001
CONV	0.005 ^{Ag}	0.04 ^{Afg}	0.08 ^{Af}	0.16 ^{Ae}	0.25 ^{Ad}	0.32 ^{Ac}	0.39 ^{Ab}	0.57 ^{Ba}		
Consumo de heno (Kg de MS/d)										
C/D	0.002 ^d	0.01 ^{cd}	0.02 ^{cd}	0.02 ^c	0.03 ^c	0.05 ^b	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.008	0.64
CONV	0.003 ^f	0.02 ^{ef}	0.03 ^{def}	0.03 ^{cd}	0.03 ^{cde}	0.04 ^{bc}	0.06 ^{ab}	0.08 ^a		
Consumo de materia seca total (Kg/d)										
C/D	4.17 ^{Ac}	5.13 ^{Acb}	6.30 ^{Ab}	7.46 ^{Aa}	6.90 ^{Aab}	6.68 ^{Aab}	7.13 ^{Aab}	8.07 ^{Aa}	0.32	<0.001
CONV	4.13 ^{Af}	4.36 ^{Aef}	4.72 ^{Bef}	5.29 ^{Bde}	5.77 ^{Bcd}	6.34 ^{Abc}	6.90 ^{Ab}	7.43 ^{Aa}		
Proteína cruda (Kg/d)										
C/D	0.16 ^{Ad}	0.24 ^{Ad}	0.29 ^{Ac}	0.35 ^{Ac}	0.36 ^{Ac}	0.44 ^{Ac}	0.68 ^{Ab}	1.05 ^{Ba}	0.06	<0.05
CONV	0.15 ^{Ae}	0.20 ^{Ade}	0.25 ^{Ade}	0.35 ^{Ac}	0.45 ^{Abc}	0.55 ^{Abc}	0.64 ^{Ab}	0.85 ^{Aa}		
Energía metabolizable (Mcal/Kg/d)										
C/D	22.2 ^{Ae}	26.4 ^{Ad}	32.5 ^{Abc}	38.5 ^{Aa}	34.9 ^{Ab}	31.8 ^{Abc}	31.0 ^{Ac}	33.8 ^{Ad}	1.07	<0.001
CONV	22.0 ^{Af}	22.6 ^{Bef}	23.7 ^{Bdef}	25.5 ^{Bcde}	27.0 ^{Bbcd}	28.7 ^{Bbc}	30.2 ^{Ab}	27.3 ^{Ba}		

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada semana ($P < 0.05$) y letras minúsculas sugieren diferencias significativas a lo largo de las semanas para cada tratamiento ($P < 0.05$). SEM = error estándar de la media.

El inicio del consumo de concentrado y heno se observó a partir del sexto día, con una notable variabilidad individual en los niveles de consumo. En particular, las terneras número 2 y 13 se destacaron por su elevado consumo de concentrado, superando los 1.0 Kg. En contraste, la ternera número 11 presentó un consumo mínimo o nulo tanto de concentrado como de heno.

Figura 3

Variación individual en el consumo diario de concentrado y heno (Kg de MS/d) de terneras Jersey durante el período de estudio.



Se observó un efecto significativo de la interacción entre el tratamiento y las semanas de observación en lo que respecta al consumo de materia seca ($P < 0.001$), proteína ($P < 0.05$) y energía metabolizable ($P < 0.001$). Las terneras sometidas al tratamiento C/D mostraron un consumo de materia seca estadísticamente superior en la tercera, cuarta y quinta semana de vida en comparación con las terneras bajo el tratamiento convencional ($P < 0.05$; Tabla 3).

En la octava semana (destete), se observó un aumento estadísticamente significativo en el consumo de proteína en el grupo de terneras C/D en comparación con el grupo CONV ($P < 0.05$; Tabla 3). Por otro lado, el consumo de energía metabolizable en el grupo C/D fue consistentemente superior a lo largo de las semanas en comparación con el grupo CONV ($P < 0.05$; Tabla 3), con excepción de la primera y séptima semana ($P > 0.05$).

Indicadores de desempeño productivo

En lo que respecta al peso corporal, se observó un efecto estadísticamente significativo de la interacción entre el tratamiento y las semanas ($P<0.001$). Se constató que las terneras del tratamiento C/D exhibieron pesos significativamente más elevados durante la cuarta, quinta, sexta y octava semana en comparación a las que recibieron el tratamiento CONV ($P<0.05$; Tabla 3).

De igual forma el análisis reveló que la ganancia diaria de peso se vio significativamente afectada por la interacción entre el tratamiento y las semanas de evaluación ($P<0.001$), en donde las terneras C/D exhibieron un incremento significativo en su ganancia de peso a lo largo de todas las semanas en comparación con las terneras del grupo CONV ($P<0.05$; Tabla 3). Sin embargo, es importante notar que este efecto no se observó en la quinta y sexta semana de vida ($P>0.05$).

En cuanto a la estatura a la cruz y a la cadera, también se observó un efecto significativo debido a la interacción entre el tratamiento y las semanas ($P<0.01$). No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las semanas ($P>0.05$; Tabla 3).

Tabla 4

Media ajustada ± error estándar del peso corporal (Kg), ganancia diaria de peso (Kg/d), estatura a la cruz y cadera (cm) en terneras Jersey del tratamiento C/D= orden creciente y decreciente de leche y CONV= convencional de acuerdo con las semanas del estudio.

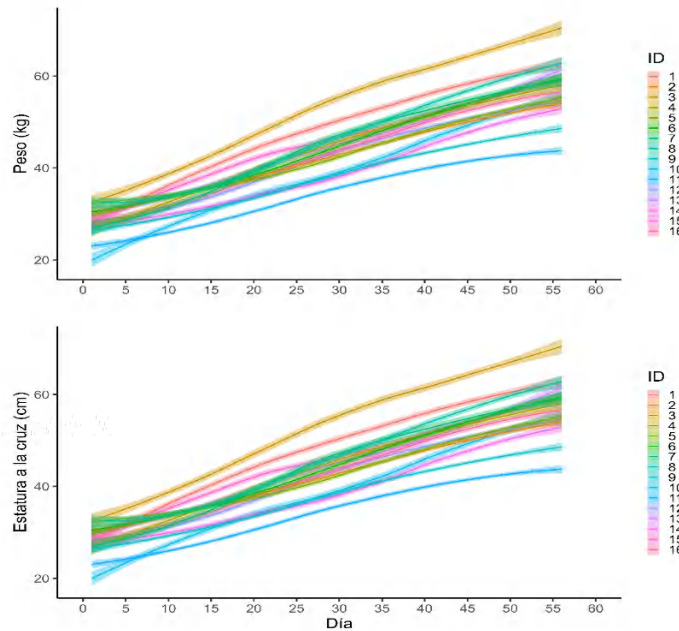
Tratamiento	Semanas								SEM	p-valor
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Peso corporal (Kg)										
C/D	29.8 ^{Ah}	33.4 ^{Ag}	39.0 ^{Af}	43.7 ^{Ae}	47.7 ^{Ad}	51.4 ^{Ac}	54.5 ^{Ab}	58.4 ^{Aa}	1.45	<0.001
CONV	28.7 ^{Ah}	31.6 ^{Ag}	35.1 ^{Af}	39.0 ^{Be}	42.7 ^{Bd}	47.0 ^{Bc}	51.4 ^{Ab}	54.0 ^{Ba}		
Ganancia diaria de peso (Kg/d)										
C/D	0.73 ^{Aab}	0.52 ^{Acd}	0.80 ^{Aa}	0.67 ^{Ab}	0.57 ^{Ac}	0.53 ^{Acd}	0.63 ^{Ad}	0.57 ^{Ac}	0.03	<0.001
CONV	0.43 ^{Bcde}	0.40 ^{Bde}	0.50 ^{Bbcd}	0.57 ^{Bab}	0.53 ^{Aabc}	0.60 ^{Aab}	0.43 ^{Ba}	0.38 ^{Be}		
Estatura a la cruz (cm)										
C/D	67.7 ^h	69.9 ^g	70.1 ^f	71.7 ^e	73.2 ^d	76.3 ^c	77.6 ^b	79.4 ^a	1.15	<0.001
CONV	68.5 ^h	68.9 ^g	71.1 ^f	72.5 ^e	73.9 ^d	75.4 ^c	77.7 ^b	79.0 ^a		
Estatura a la cadera (cm)										
C/D	69.9 ^h	71.3 ^g	72.5 ^f	73.8 ^e	75.2 ^d	78.2 ^c	79.0 ^b	81.0 ^a	18.9	0.007
CONV	69.8 ^h	71.5 ^g	72.7 ^f	74.2 ^e	75.5 ^d	77.8 ^c	79.4 ^b	80.7 ^a		

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada semana ($P<0.05$) y letras minúsculas sugieren diferencias significativas a lo largo de las semanas para cada tratamiento ($P<0.05$). SEM = error estándar de la media.

La figura 4 ilustra la notable variabilidad entre individuos en términos de peso y altura a la cruz, independientemente de los tratamientos aplicados. La ternera número 2 exhibió consistentemente el mayor peso y altura a lo largo del estudio. En contraste, la ternera número 11 mostró el peor desempeño, lo cual podría estar relacionado con su baja ingesta de nutrientes.

Figura 4

Variación individual en peso y crecimiento de las terneras Jersey a lo largo del periodo de estudio.

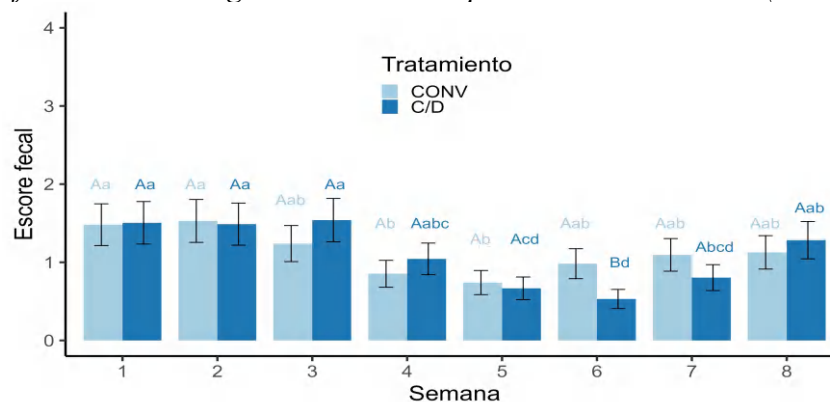


Salud

El escore de diarrea fue afectado de forma significativa por la interacción entre el tratamiento y la edad ($P < 0.05$). En la sexta semana las terneras CONV mostraron un escore de diarrea superior a C/D (Figura 4). En el tratamiento CONV, el escore de diarrea fue superior en las dos primeras semanas en relación con la cuarta y quinta semana ($P < 0.05$). A su vez, las terneras del tratamiento C/D mostraron menor escore de diarreas en las primeras cuatro semanas de vida que en la quinta y sexta semana ($P < 0.05$; Figura 5). Además, es importante destacar que, durante el estudio, no se registraron muertes entre las terneras en ninguno de los dos tratamientos.

Figura 5

Escore fecal de terneras Jersey del tratamiento (C/D= orden creciente y decreciente de leche y CONV= convencional) a lo largo de las semanas. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada semana ($P < 0.05$) y letras minúsculas sugieren diferencias significativas a lo largo de las semanas para cada tratamiento ($P < 0.05$).



Análisis de costo-beneficio

El costo total de crianza por ternera aparece descrito en la (Tabla 5). Siendo el costo de mano de obra, depreciación y alimentación los rubros con mayor importancia en el total. El costo por kilo de ternera destetada fue de 3.44 y 3.83 dólares para el programa C/D y convencional, respectivamente. El tratamiento C/D fue más costoso debido a mayor inversión en alimentación y mano de obra, sin embargo, fue el más eficiente debido a que el costo de producir un kilogramo de ternera fue menor con respecto a CONV.

Tabla 5

Costo total de crianza (USD y %) por ternera para el tratamiento con volúmenes de dieta líquida con orden creciente/decreciente (C/D) y convencional (CONV) desde el nacimiento al destete.

Item	Tratamiento			
	Dólares (USD)		Porcentaje (%)	
	C/D	CONV	C/D	CONV
Leche (L)	15.97	13.50	13.76	12.48
Concentrado (Kg)	7.35	7.72	6.33	7.14
Heno (Kg)	0.48	0.46	0.41	0.43
Mano de obra	71.31	65.46	61.44	60.54
Depreciación	19.44	19.44	16.75	17.98
Insumos veterinarios	1.52	1.55	1.31	1.43
Total	116.07	108.13		

DISCUSIÓN

Consumo de concentrado y heno

El consumo de concentrado fue superior en las terneras del tratamiento CONV entre la quinta y sexta semana en relación con el C/D, lo que podría ser explicado por una mayor oferta de leche en tratamiento C/D en esas semanas, sin embargo, al destete ocurrió lo contrario, con las terneras del tratamiento C/D consumiendo 0.23 Kg más de concentrado en comparación al grupo CONV (0.80 vs 0.57 Kg respectivamente), resultado que puede ser explicado por el descenso en la oferta de leche que preparara a los terneros para un destete gradual y mejora en su desarrollo ruminal (Baldwin *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2011b; Valehi *et al.*, 2022), para mantener un buen crecimiento pre y post destete.

Nuestros resultados son apoyados por estudios que sugieren una relación inversa entre el consumo de alimentos sólidos antes del destete y el consumo de leche, lo que podría tener efectos adversos en el crecimiento durante la etapa predestete (Gelsinger *et al.*, 2016). En una revisión reciente, donde fueron considerados 47 estudios, fue informado que el 76% mostró un efecto negativo de una mayor oferta de leche en el consumo de concentrado antes del destete (Welk *et al.*, 2023). Por otro lado, numerosas investigaciones han corroborado que la reducción de la cantidad de leche a partir de las 4 semanas de edad puede incrementar la ingestión de alimento concentrado previo al destete, lo que, a su vez, contribuye a mantener el peso de los terneros tanto durante como después



del proceso de destete. Esto es especialmente relevante cuando los terneros son alimentados con altas cantidades de leche (Khan *et al.*, 2007a; Omid-Mirzaei *et al.*, 2015; Khani *et al.*, 2017; Benetton *et al.*, 2019; Ahmadi *et al.*, 2022). En consecuencia, estos hallazgos respaldan la adopción de sistemas de alimentación que ofrezcan alto volúmenes de leche de manera gradual.

Además, nuestro estudio muestra la gran variación individual en el consumo de concentrado, con una gran cantidad de animales C/D que superan 1 Kg diario de consumo. Por lo tanto, estos resultados son cónsonos con otros estudios que han reportado gran variabilidad en el consumo de concentrado (Benetton *et al.*, 2019). Al respecto indican que la variación en el consumo de ración antes del destete puede ser una estrategia para el manejo individualizado de los animales. Los resultados de este estudio también concuerdan con los estudios llevados cabo por De Passillé y Rushen, (2016), quienes reportan una gran variabilidad en la edad en que las terneras comienzan a consumir concentrado, con un rango de 23 a 82 días de edad para consumir 200 g de concentrado. A pesar de que el consumo de heno no difirió entre tratamientos, a partir del sexto día de vida, las terneras muestran consumos medibles con aumento gradual conforme transcurren los días, en particular a partir de la cuarta semana de vida, lo que concuerda con estudios que indican que los terneros comienzan a presentar comportamientos de pastoreo las primeras semanas de vida (Tedeschi y Fox, 2009).

Algunos estudios indican que la alimentación de terneras lecheras antes del destete con forraje (heno) disminuye el consumo inicial de alimento y materia seca (Hill *et al.*, 2008 a, b). Sin embargo, esto no fue evidenciado en nuestro estudio, debido a que el análisis de componentes principales sugirió que el consumo de concentrado estaba positivamente asociado con el consumo de heno. Esta oferta temprana de heno es benéfica para promover el desarrollo intestinal y el comportamiento de rumia en terneras tal cual como lo indica (Khan *et al.*, 2016). Además, estos mismos autores sugieren que tanto la forma física, así como la composición nutricional pueden afectar el desarrollo de las terneras.

Peso y crecimiento

Los resultados del estudio revelaron hallazgos significativos, particularmente en las terneras alimentadas con el tratamiento C/D, que mostraron un incremento notable en el peso corporal entre la cuarta y la sexta semana en comparación con las terneras alimentadas de manera convencional (CONV). Este aumento de peso podría estar asociado con un mayor consumo tanto de leche como de concentrado, lo que resultó en una mayor ingesta de materia seca durante este periodo crítico de crecimiento.

Es importante resaltar que las terneras del tratamiento C/D lograron duplicar su peso al nacimiento para el momento del destete. Este hecho se reflejó en pesos corporales significativamente superiores al destete, acompañados de un incremento notable en la ganancia diaria de peso, con un aumento de 4.4 Kg en el peso final y 0.19 Kg/día en comparación con las terneras CONV.

Los resultados de nuestro estudio son consistentes con los hallazgos de Omid-Mirzaei *et al.* (2015), quienes estudiaron dos regímenes de alimentación: un grupo CONV, que recibió 4 L/día de leche del día 1 al 52 y 2 L/día del día 53 al 56, y un grupo SUSL, que fue alimentado con un patrón creciente y decreciente de volúmenes de leche (6-10 L/día). Las terneras bajo el régimen SUSL mostraron un mayor consumo de materia seca y mayores ganancias diarias de peso en



comparación con el grupo CONV. De manera similar, Valehi *et al.* (2022), observaron que las terneras Holstein alimentadas con un esquema similar al SUSD también experimentaron mayores pesos corporales y ganancias diarias de peso en comparación con el grupo convencional, que recibió menores volúmenes de leche.

Ahmadi *et al.* (2022), también informaron que terneras alimentadas con mayores volúmenes de leche (8 L/día), en comparación con aquellas que recibieron 6 L/día, lograron un mayor peso corporal y ganancia diaria tanto en la etapa pre-destete como post-destete, independientemente de la frecuencia de alimentación. Además, estas terneras alcanzaron un peso 12.5 Kg superior al momento de la inseminación artificial y adelantaron el primer servicio en 7 días, con una tendencia a producir $1,195 \pm 556$ Kg más de leche a 305 días.

En conjunto, estos hallazgos demuestran la eficacia de los programas de alimentación con altos volúmenes de leche en patrones crecientes y decrecientes, lo que puede tener implicaciones positivas para el crecimiento y desarrollo de terneras tanto a corto como a largo plazo. Aunque algunos estudios sugieren que un mayor aporte energético y proteico en las primeras semanas de vida mejora el crecimiento estructural y reduce los costos de crianza (Brown *et al.*, 2005), en nuestro estudio no se observaron diferencias significativas en el crecimiento estructural entre los tratamientos. Esto puede deberse a que las variaciones en la oferta de proteína cruda en el tratamiento C/D solo se introdujeron durante la octava semana, lo que probablemente no fue suficiente para generar diferencias evidentes.

Numerosos estudios han destacado la importancia crítica del adecuado crecimiento en terneras lecheras, señalando que el tipo de crecimiento antes del destete es un factor clave para la producción futura de leche. En particular, se ha observado que los terneros de menor estatura al destete presentan un menor potencial productivo y una menor probabilidad de mantenerse en el rebaño hasta alcanzar su primera lactancia (Van De Stroet *et al.*, 2016). Por lo tanto, resulta esencial la implementación de estrategias nutricionales que promuevan tasas óptimas de crecimiento y desarrollo durante esta fase crítica.

En este estudio, no solo se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, sino que también se observó una notable variabilidad individual en el consumo de concentrado y heno, así como en el crecimiento y peso de las terneras. Estas variaciones individuales deben ser consideradas, ya que, además de las necesidades metabólicas y fisiológicas, las vacas presentan rasgos de personalidad, o temperamento, que influyen en sus comportamientos alimentarios y, por ende, en cómo satisfacen dichas necesidades (Han y Dingemans, 2015). Los rasgos de personalidad son factores subyacentes que juegan un papel crucial en diversos aspectos del comportamiento animal, incluida la selección de la dieta y los patrones de consumo de alimento (Meagher *et al.*, 2017; Neave *et al.*, 2018; Whalin *et al.*, 2022). Por lo tanto, es imprescindible considerar estas diferencias individuales a lo largo del ciclo productivo. De hecho, estudios previos sugieren que los terneros con comportamientos más exploratorios y activos tienden a iniciar el consumo de concentrado a una edad más temprana, lo que se traduce en un incremento sostenido en la ingesta de materia seca y una mayor ganancia diaria de peso (Neave *et al.*, 2018). En futuros estudios, será relevante investigar el impacto del temperamento en relación con diferentes programas de alimentación en terneras lecheras.

Salud

En cuanto a la incidencia de diarrea, se observó que, durante la sexta semana de vida, las terneras del grupo C/D presentaron un menor puntaje fecal en comparación con las del grupo control (CON), a pesar de que el consumo de leche fue superior en las terneras C/D durante esta semana. En términos generales, durante las primeras cuatro semanas, los animales exhibieron mayores puntajes fecales, lo cual es consistente con lo reportado por Silva *et al.* (2021), quienes indicaron que los casos de diarrea son más frecuentes entre la segunda y tercera semana de vida.

Nuestros resultados demuestran de manera consistente que ofrecer volúmenes elevados de leche (hasta 7 L/día) en terneras Jersey durante ciertas semanas no provocó episodios de diarrea, lo cual contrasta con otros estudios que utilizaron sistemas de alimentación con volúmenes crecientes o decrecientes de leche, y tampoco reportaron problemas de salud antes del destete (Omidi-Mirzaei *et al.*, 2015; Valehi *et al.*, 2022).

Costo de crianza hasta el destete

El incremento en la cantidad de leche suministrada a las terneras del grupo C/D (49 litros) en comparación con las del grupo convencional (CONV) resultó en un aumento del costo total de crianza hasta el destete, con una diferencia de 7.94 USD por animal. Sin embargo, es relevante señalar que el costo por kilogramo de peso vivo al destete fue 0.39 USD menor en las terneras del grupo C/D. Las variaciones en los costos de cría de terneras de reemplazo pueden explicarse, en parte, por las diferencias en los sistemas de manejo, como lo ha señalado previamente Hawkins *et al.* (2019).

Por su parte, Heinrichs *et al.* (2013), informaron que el costo de alimentación en 44 granjas oscilaba entre 29.06 USD y 259.17 USD por animal, con un costo total por ternera de 89.00 USD a 442.78 USD durante el período desde el nacimiento hasta el destete. Estas cifras ponen de relieve la amplia variabilidad en los costos de crianza, influenciados por factores como el manejo, la genética y el ambiente, lo que resalta la necesidad de evaluar no solo el costo total, sino también la relación entre inversión y eficiencia productiva.

CONCLUSIONES

Las terneras que fueron alimentadas mediante un programa de oferta de leche con orden creciente/decreciente (C/D) exhibieron un mayor consumo de concentrado al momento del destete. Asimismo, presentaron un mayor consumo de materia seca, lo que resultó en un incremento en su peso y ganancias diarias de peso al destete en comparación a las terneras CON. Además, es importante destacar que el costo por kilo de terneras destetadas fue menor en el grupo de terneras sometidas al tratamiento C/D en comparación con las terneras del grupo de control (CON).

Un factor de relevancia que merece ser considerado es la notable variabilidad individual que se observa tanto en el consumo de concentrado y heno como en los indicadores de productividad en las terneras. En consecuencia, es crucial prestar atención a las variaciones entre los individuos y, en función de esto, implementar medidas y estrategias de destete, e incluso considerar ajustes nutricionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, F., Akbarian-Tefaghi, M., jafari, A. y Ghaffari, M. H. (2022). Effects of different milk feeding levels and frequencies on performance of Holstein heifers during weaning and first lactation. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22560-y>
- Azevedo, R. A., Lage, C. F. A., Silper, B. F., Diniz Neto, H. C., Quigley, J. D. y Coelho, S. G. (2023). Invited review: Total solids concentration in milk or milk replacer for dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 106(11), 7341–7351. <https://doi.org/10.3168/JDS.2023-23372>
- Baldwin, R. L., McLeod, K. R., Klotz, J. L. y Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and post-weaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87(6), E55–E65. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70061-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2)
- Bates, D., Maechler, B. B. M., Bolker, B. y Walker, S. (2022). *Lme4: Linear Mixed-Effects Models Using ‘Eigen’ and S4*. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf> (Access 21 November 2023).
- Benetton, J. B., Neave, H. W., Costa, J. H. C., von Keyserlingk, M. A. G. y Weary, D. M. (2019). Automatic weaning based on individual solid feed intake: Effects on behavior and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5475–5491. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-15830>
- Brown, E.G., VandeHaar, M.J., Daniels, K.M., Liesman, J.S., Chapin, L.T., Keisler, D.H. y Nielsen, M.S. 2005. Effect of Increasing Energy and Protein Intake on Body Growth and Carcass Composition of Heifer Calves. *Journal of Dairy Science*, 88(2), 585-594. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72722-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72722-3)
- Chapman, C. E., Erickson, P. S., Quigley, J. D., Hill, T. M., Bateman, H. G., Suarez-Mena, F. X. y Schlotterbeck, R. L. (2016). Effect of milk replacer program on calf performance and digestion of nutrients with age of the dairy calf. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2740–2747. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-10372>
- De Paula Vieira, A., Guesdon, V., de Passillé, A. M., von Keyserlingk, M. A. G. y Weary, D. M. (2008). Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(2–4), 180–189. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2007.03.006>
- de Passillé, A. M. y Rushen, J. (2016). Using automated feeders to wean calves fed large amounts of milk according to their ability to eat solid feed. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3578–3583. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-10259>
- Geiger, A. J., Parsons, C. L. M. y Akers, R. M. (2016). Feeding a higher plane of nutrition and providing exogenous estrogen increases mammary gland development in Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 99, 7642–7653. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11283>
-

- Gelsinger, S. L., Heinrichs, A. J. y Jones, C. M. (2016). A meta-analysis of the effects of preweaned calf nutrition and growth on first-lactation performance. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6206–6214. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-10744>
- Han, C. S. y Dingemans, N. J. (2015). Effect of diet on the structure of animal personality. *Frontiers in Zoology*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-12-S1-S5/FIGURES/3>
- Hawkins, A., Burdine, K., Amaral-Phillips, D. y Costa, J. H. C. (2019). An Economic Analysis of the Costs Associated with Pre-Weaning Management Strategies for Dairy Heifers. *Animals*, 9(7), 471. <https://doi.org/10.3390/ANI9070471>
- Heinrichs, A. J., Jones, C. M., Gray, S. M., Heinrichs, P. A., Cornelisse, S. A. y Goodling, R. C. (2013). Identifying efficient dairy heifer producers using production costs and data envelopment analysis. *Journal of dairy science*, 96(11), 7355-7362. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6488>
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M. y Schlotterbeck, R. L. (2008a). Effects of the Amount of Chopped Hay or Cottonseed Hulls in a Textured Calf Starter on Young Calf Performance. *Journal of Dairy Science*, 91(7), 2684–2693. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0935>
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M. y Schlotterbeck, R. L. (2008b). Effects of Feeding Different Carbohydrate Sources and Amounts to Young Calves. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3128–3137. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0950>
- IMN. (2018). Mapa de Costa Rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/mapa>. 29-5-2019.
- INDER. (2016). *Informe de Caracterización Básica Territorio Barva-Santa Bárbara-San Isidro-San Rafael-Santo Domingo-Vara blanca* [versión Adobe Reader]. Recuperado de: https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Barva-Santa-Barbara-San-Isidro-San-Rafael-Santo-Domingo-Vara-blanca.pdf. 29-5-1029
- Ivemeyer, S., Preußner, J., Haager, D., Simantke, C., Waldherr, P., Kull, K., Utz, G., Knierim, U. y Winckler, C. (2022). Impact of enhanced compared to restricted milk feeding on the behaviour and health of organic dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 252, 105655. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2022.105655>
- Jafari, A., Azarfar, A., Ghorbani, G. R., Mirzaei, M., Khan, M. A., Omidi-Mirzaei, H., Pakdel, A. y Ghaffari, M. H. (2020). Effects of physical forms of starter and milk allowance on growth performance, ruminal fermentation, and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103, 11300–11313. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18252>
- Jasper, J. y Weary, D. M. (2002). Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 85, 3054–3058. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74391-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9)

- Khan, M. A., Bach, A., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 885–902. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-9975>
- Khan, M. A., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. (2011b). Invited Review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94, 1071–1081. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3733>
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Ki, K. S., Ha, J. K., Lee, H. G., y Choi, Y. J. (2007a). Pre- and Postweaning Performance of Holstein Female Calves Fed Milk Through Step-Down and Conventional Methods. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 876–885. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(07\)71571-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(07)71571-0)
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Ki, K. S., Hur, T. Y., Suh, G. H., Kang, S. J., y Choi, Y. J. (2007b). Structural Growth, Rumen Development, and Metabolic and Immune Responses of Holstein Male Calves Fed Milk Through Step-Down and Conventional Methods. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3376–3387. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0104>
- Khani, M., Ahmadi, F., Ariana, M., Omidian, S., Sharifi, S., Ghaffari, M. y Beiranvand, H. (2017). Performance of Holstein calves receiving equal quantities of milk at fixed or variable amounts per day during milk-feeding period. *Animal*, 11(10), 1737-1744. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000647>
- McGuirk, S.M. (2008). Disease Management of Dairy Calves and Heifers. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24, 139-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.003>
- Meagher, R. K., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Some like it varied: Individual differences in preference for feed variety in dairy heifers. *Applied Animal Behaviour Science*, 195, 8–14. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2017.06.006>
- Molenaar, A. J., Maclean, P. H., Gilmour, M. L., Draganova, I. G., Symes, C. W., Margerison, J. K. y McMahan, C. D. (2020). Effect of whole-milk allowance on liveweight gain and growth of parenchyma and fat pads in the mammary glands of dairy heifers at weaning. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5061–5069. <https://doi.org/10.3168/JDS.2019-17126>
- Neave, H. W., Costa, J. H. C., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. (2018). Personality is associated with feeding behavior and performance in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 101(8), 7437–7449. <https://doi.org/10.3168/JDS.2017-14248>
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press.
- Omidi-Mirzaei, H., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Moshiri, B., Mirzaei, M., Pezeshki, A. y Ghaffari, M. H. (2015). Effects of the step-up/step-down and step-down milk feeding procedures on the performance, structural growth, and blood metabolites of Holstein dairy

- calves. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7975–7981. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-9260>
- Preacher, K. y MacCallum, R. (2003). Repairing Tom Swift's electric factor analysis machine. *Underst. Stat.*2(1), 13-43. https://doi.org/10.1207/S15328031US0201_02
- Quigley, J. D., Hill, T. M., Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X. y Schlotterbeck, R. L. (2018). Effects of feeding milk replacer at 2 rates with pelleted, low-starch or texturized, high-starch starters on calf performance and digestion. *Journal of Dairy Science*, 101, 1–12. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13851>
- Rosadiuk, J. P., Bruinjé, T. C., Moslemipur, F., Fischer-Tlustos, A. J., Renaud, D. L., Ambrose, D. J. y Steele, M. A. (2021). Differing planes of pre- and postweaning phase nutrition in Holstein heifers: I. Effects on feed intake, growth efficiency, and metabolic and development indicators. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1136–1152. <https://doi.org/10.3168/JDS.2020-18809>
- Rosenberger, K., Costa, J. H. C., Neave, H. W., von Keyserlingk, M. A. G. y Weary, D. M. (2017). The effect of milk allowance on behavior and weight gains in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100, 504–512. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11195>
- Stamey, J. A., Janovick, N. A., Kertz, A. F. y Drackley, J. K. (2012). Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *J. Journal of Dairy Science*, 95, 3327–3336. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5107>
- Silva, J. T., Miqueo, E., Torrezan, T. M., Rocha, N. B., Slanzon, G. S., Virginio Júnior, G. F. y Bittar, C. M. M. (2021). Supplementation of lysine and methionine in milk replacer or starter concentrate for dairy calves in step-up/step-down feeding program. *Animals*, 11(10), 2854. <https://doi.org/10.3390/ANI11102854/S1>
- Soberon, F. y van Amburgh, M. E. (2017). Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tissue. *Journal of Dairy Science*, 100, 4996–5004. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11826>
- Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R. W. y van Amburgh, M. E. (2012). Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 783–793. <https://doi.org/10.3168/JDS.2011-4391>
- Svensson, C., Hegrestad, A. L. y Lindblom, J. (2023). Dairy farmer and farm staff attitudes and perceptions regarding daily milk allowance to calves. *Journal of Dairy Science*, 106(10), 7220–7239. <https://doi.org/10.3168/JDS.2023-23499>
- Tedeschi, L. O. y Fox, D. G. (2009). Predicting milk and forage intake of nursing calves. *Journal of Animal Science*, 87(10), 3380–3391. <https://doi.org/10.2527/JAS.2009-2014>

- Terré, M., Devant, M. y Bach, A. (2006). Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhanced-growth feeding program during the preweaning period. *Livestock Science*, 105(1–3), 109–119. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2006.05.001>
- Terré, M., Devant, M. y Bach, A. (2007). Effect of level of milk replacer fed to Holstein calves on performance during the preweaning period and starter digestibility at weaning. *Livestock Science*, 110(1–2), 82–88. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2006.10.001>
- Valehi, M. M., Ghorbani, G. R., Khorvash, M., Hashemzadeh, F., Rafiee, H. y Drackley, J. K. (2022). Performance, structural growth, and digestibility by Holstein calves fed different amounts of milk through step-up/step-down or conventional methods. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 3988–3996. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21151>
- Van De Stroet, D. L., Calderón, J. A., Stalder, K. J. Heinrichs, A. J. y Dechow, C. D. (2016). Association of calf growth traits with production characteristics in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 99, 8347–8355. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10738>
- Whalin, L., Neave, H. W., Føske Johnsen, J., Mejdell, C. M. y Ellingsen-Dalskau, K. (2022). The influence of personality and weaning method on early feeding behavior and growth of Norwegian Red calves. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1369–1386. <https://doi.org/10.3168/JDS.2021-20871>
- Welk, A., Otten, N. D. y Jensen, M. B. (2023). Invited review: The effect of milk feeding practices on dairy calf behavior, health, and performance—A systematic review. *Journal of Dairy Science*, 106(9), 5853–5879. <https://doi.org/10.3168/JDS.2022-22900>



**PATOGENICIDAD DE NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS SOBRE LARVAS DE *Agrotis* sp.
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

**PATHOGENICITY OF ENTOMOPATHOGENIC NEMATODES ON LARVAE OF *Agrotis* sp.
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)**

Yangüéz, Joseph. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
josephadrian99@outlook.es <https://orcid.org/0009-0009-5336-3597>

Pitti, Javier. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.
pittjavier28@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-0776-8795>

Vargas, Reynaldo. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. Sistema Nacional de Investigación (SNI). Panamá
reynaldo.vargas@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5420-9761>

Bado, Merly. Universidad Tecnológica OTEIMA, Facultad de Ciencias Agroambientales, Panamá.
merly.bado@oteima.ac.pa <https://orcid.org/0009-0009-4673-1160>

Guerra, Ivonne. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.
ivonne.guerra@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-2289-9534>

Martínez, Oscar. Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Panamá.
oscar.martinez@unachi.ac.pa <https://orcid.org/0009-0001-0720-8678>

*Ríos-Moreno, Alex. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
alex.morenom@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-3117-9659>

*Correo de Correspondencia: alex.morenom@up.ac.pa

Recibido: 07/10/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6547>

RESUMEN. El propósito de esta investigación fue evaluar la patogenicidad de *Heterorhabditis* sp. en larvas de *Agrotis* sp. en laboratorio y campo. Los bioensayos de laboratorio se aplicaron dos métodos: el libre (100, 200, 300 NEPs/mL por larva) y cápsulas (2, 5 y 10 cápsulas/mL por larva) y un testigo que consistió en aplicar 1 mL de agua destilada. El ensayo en campo se evaluó en parcelas de 24 m², durante 15 días, donde se estimó los cortes hechos a plántulas de lechuga por *Agrotis* sp. en diferentes tratamientos: un testigo sin ninguna aplicación, NEPs, un control cultural (lechugas tratadas con Clorpirifos 75% antes de la siembra), y dos tratamientos químicos Engeo (ingrediente activo Thiametoxam y Lambda cihalotrina) y Clorpirifos 75%. En este ensayo la infestación de *Agrotis* sp. se dio de manera natural. El porcentaje de mortalidad diaria en laboratorio, para ambos métodos, se calculó utilizando el estimador de supervivencia no paramétrico Kaplan-Meier, indicando que existen diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05). La mortalidad para ambos métodos fue de 100% en 5 días de observación. En el ensayo de campo fue analizado a través de modelo lineales generalizados ajustados a la distribución de Poisson mostrando diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.001), debido a que se observaron 28 cortes en el testigo, 7 y 17 en Clorpirifos 75% y Engeo, respectivamente, 3 en el control cultural y 2 con NEPs. En este trabajo se evidenció el potencial que tienen los NEPs en el control de plagas.

PALABRAS CLAVE: biotecnología, capsulas, control biológico, manejo integrado de plagas, seguridad alimentaria.



ABSTRACT. The purpose of our research was to evaluate the pathogenicity of, *Heterorhabditis* sp. on *Agrotis* sp. larvae under semi-controlled conditions and field. In the laboratory bioassays, two methods were applied: free (100, 200, 300 NEPs/mL per larva) and capsules (2, 5 and 10 capsules/mL per larva) and a control that consisted of applying 1 mL of distilled water. The field trial was evaluated in plots of 24 m², for 15 days, where cuttings made to lettuce seedlings by *Agrotis* sp. were evaluated in different treatments: a control without any application, NEPs, a cultural control (lettuce treated with Chlorpyrifos 75% before planting), and two chemical treatments Engeo (active ingredient Thiamethoxam and Lambda Cyhalothrin) and Chlorpyrifos 75%. In this trial, the infestation of *Agrotis* sp. occurred naturally since it is an endemic pest of the area. The percentage of daily mortality in the laboratory, for both methods, was calculated using the non-parametric survival estimator Kaplan-Meier, which shows that there are significant differences between treatments ($P < 0.05$). Mortality for both application methods was 100% in 5 days of observation. The field trial was analyzed through a generalized linear model adjusted to the Poisson distribution, which shows that there is a difference between treatments ($P < 0.001$), since 28 cuts were observed in the control, 7 and 17 in Chlorpyrifos 75% and Engeo respectively, 3 in the cultural control and 2 with NEPs. These results are interesting because they demonstrate a viable alternative for the biological control of *Agrotis* sp.

KEYWORDS: biological control, biotechnology, capsules, food safety, integrated pest management.

INTRODUCCIÓN

Las plagas y enfermedades de los cultivos están entre las limitantes más serias que afronta la producción agrícola a nivel mundial. Su presencia es inevitable e induce a la aplicación de plaguicidas químicos como principal herramienta de los productores para su control y manejo. El empleo indiscriminado de estos productos, incrementan el costo de producción, contaminan los agroecosistemas y sus cuencas hidrográficas y puede provocar la aparición de nuevas plagas cada vez más resistentes (Candanedo *et al.*, 2019).

Frente a esta situación, a nivel del mundo diversas instituciones están utilizando una serie de métodos ecológicos dentro de un Programa Integrado de Plagas (MIP) como es el empleo del control biológico, lo que ha generado efectividad y menor uso de plaguicidas; este control de plagas constituye una alternativa viable, sostenible y posible para países en vías de desarrollo (Castillo *et al.*, 2011). Todo esto lleva a la situación que se vive en los últimos 10 años, donde se involucra el uso de enemigos naturales como una alternativa viable dentro de programas agrícolas para disminuir el efecto que ha generado en el cambio climático.

El uso de productos químicos ha llevado al desarrollo de resistencia como una consecuencia natural de los procesos evolutivos relacionados con la selección de especies. Este fenómeno corresponde a la condición heredable que poseen ciertos individuos en una población que le confiere una menor susceptibilidad a los métodos usados para su control. La resistencia ha sido uno de los problemas más importantes que enfrenta la producción agrícola a nivel mundial, tanto así que las Naciones Unidas, en 1989, consideró la resistencia a los plaguicidas, entre los cuatro problemas de mayor importancia para el medio ambiente. Actualmente, la condición de los organismos resistentes está siendo predominante en las poblaciones de plagas, con la capacidad de ser resistentes a uno o más plaguicidas (Vargas *et al.*, 2008).



El control biológico consiste en la acción de enemigos naturales contra plagas y malas hierbas; sobre todo el uso de depredadores, insectos parasitoides, hongos, bacterias, virus y nematodos entomopatógenos (NEPs). Este último control resulta particularmente exitoso contra plagas que afecten los cultivos (Jiménez, 2009).

Los nematodos del género *Heterorhabditis* sp. (Nematoda: Chromadorea: Rhabditida), son agentes entomopatógenos con la capacidad de infectar la mayoría de los órdenes y familias; el hábitat natural de estos organismos se encuentra en el suelo (Klein, 1990), puede encontrarse generaciones hermafroditas y anfimícticas dentro del ciclo de vida de este género, las cuales se dan muchas veces dentro del hospedero parasitado y se superponen (Burnell y Stock, 2000), de modo que los adultos que resultan de juveniles infectivos o JI se caracterizan por ser hermafroditas, los cuales producen huevos de los que emergen juveniles que se convierten en machos y hembras; dichas hembras se aparean con machos y producen huevos, a partir de los cuales nacen otro JI (Stock y Goodrich, 2012).

Existen diversas formulaciones de NEPs para el combate biológico, tales como la bioencapsulación, ha aumentado notablemente, debido a una demanda creciente de agentes de combate microbiano. Existe una gran variedad de métodos de encapsulamiento para la formación de agentes biocontroladores, entre ellos nematodos entomopatógenos (Vemmer y Patel, 2013). La formulación adecuada de los NEPs en cápsulas tiene una serie de ventajas como la capacidad de prolongar la vida útil de los nematodos, permitir una mejor manipulación del producto, la disminución del número de aplicaciones y la dosis de aplicación (Cassidy *et al.*, 1996; Vassilec *et al.*, 2001; Mnyone *et al.*, 2009; Bogantes *et al.*, 2018;).

Las larvas de *Agrotis* sp. (Lepidoptera: Noctuidae), muerden los tallos y destruyen las plantas en secciones de surco, consumen las raíces, cortan el cuello de la planta y consumen las hojas tiernas, especialmente perjudiciales en plantas jóvenes. Al terminar de comer una planta se trasladan a la planta más cercana. Tienen hábitos alimenticios nocturnos; durante el día se les encuentra enterrados en el suelo cerca de las plantas de semillero a nivel del suelo. Las larvas en ocasiones se alimentan de las raíces. Esta plaga puede hacer daño en los campos recién sembrados (García *et al.*, 2012). Trabajos previos han reportado que los NEPs son patógenos de estas larvas, p.ej., Giannasi *et al.* (2018), evaluaron el potencial de los nemátodos entomopatógenos (NEPs) en el control de *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae), donde obtuvieron resultados interesantes causando la mortalidad del insecto en pocos días de aplicación en condiciones de laboratorio. Mantoo *et al.* (2012), realizaron un estudio en condiciones de laboratorio donde evaluaron la virulencia del aislado de NEPs, *Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar) (Rhabditidae: Heterorhabditae), contra el gusano cortador negro, *A. ipsilon*, donde el NEPs resultó patogénico para el insecto durante el bioensayo en placas Petri y en columnas de arena. Además, observaron una correlación positiva entre la concentración del nematodo entomopatógeno y la mortalidad del gusano cortador. Por todo lo expuesto anteriormente, el propósito de nuestra investigación fue evaluar la patogenicidad de NEPs sobre larvas de *Agrotis* sp. en condiciones semicontroladas en laboratorio y campo.



MATERIALES Y MÉTODOS

Crianza de *Galleria mellonella*

La crianza de *G. mellonella* se estableció por medio de larvas que posee la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Panamá en el Laboratorio del Grupo de Investigación en Protección Vegetal (GIPROVEG) (08°23'41,8"N, 82°19'47,60"O, 30 m s. n. m.). La instalación del pie de cría se estableció en una dieta artificial que consistió en una mezcla de ingredientes de 400 g de salvado de trigo, 120 g de harina de trigo, 160 g de sustituto en polvo de leche de ternero y 300 mL de miel por cada 680 g de dieta (Moreno-Serrano *et al.*, 2022). La crianza de esta polilla se realizó con el fin de ser el hospedero biológico para la multiplicación de NEPs y ver la potencialidad que tienen los NEPs en infestar y multiplicarse en el hospedero.

Multiplicación de nematodos entomopatógenos

Para la multiplicación del nematodo entomopatógeno *Heterorhabditis* sp. se extrajo del pie de cría que posee el IDIAP sede de Cerro Punta (08°51'13"N, 82°34'16"O 2,287 m s.n.m), con el método de Baermann modificado, el cual consiste en suspender el suelo en un determinado volumen de agua, procurando que el papel filtro este en contacto con el agua, se deja en reposo, después de unas 24 o 48 horas, todas las formas activas del nematodo han pasado el papel filtro y por medio de la precipitación quedan retenidos en el fondo del embudo y se puede recolectar en pequeños volúmenes de agua (Esquivel, 2013).

Proceso de obtención de nematodos juveniles en larvas de *G. mellonella*

Se realizó la prueba en laboratorio utilizando como hospedero larvas de *G. mellonella* en su último estadio, se colocaron larvas del último estadio en platos Petri con papel filtro (Whatman nº3), y se inoculó con 2,000 nematodos juveniles y se colocaron 10 larvas, posterior fueron colocadas en una incubadora a 25 °C (Vevor), transcurrido 4 días las larvas muertas con color marrón se colocaron en Trampa White para la emergencia de los juveniles infectivos y colocados en una incubadora a 25 °C. Se realizaron cuatro repeticiones.

Cuantificación de nematodos entomopatógenos

Para el conteo de nematodos se utilizó el método de la dilución volumétrica de Woodring y Kaya (1988). Se colocó en una micropipeta 10 µl de la suspensión inicial de nematodos, en una placa de conteo y se procedió al conteo directo de los nematodos en el microscopio. Se realizaron tres repeticiones. Para determinar la concentración de nematodos en toda la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$A = V * a / v$$

Donde:

A= Número de nematodos en la solución



a= Número de nematodos en la muestra

V= Volumen de la solución

v= Volumen de la muestra

Preparación de cápsulas a base del biopolímero de quitosano con *Heterorhabditis sp.*

Para elaborar cápsulas utilizando el biopolímero quitosano se utilizó la guía propuesta por Sun *et al.* (2011), se empleó una balanza digital para pesar 0.200 g del biopolímero, con vaso químico de 10 mL se colocó 50 μ l de ácido láctico, se mezcló la solución en un plato agitador a 380 rpm con magneto durante 12 o 24 h para la homogeneidad de la solución. Luego se mezcló la solución de NEPs + el quitosano. Se preparó la solución de tripolifosfato de sodio (STPP, siglas en ingles), pesando 1 g en un vaso químico de 500 mL, se agregaron 80 mL de agua destilada y se llevó al plato agitador a 380 rpm durante 10 minutos. Posteriormente, con una jeringa de 5 mL se tomó la mezcla NEPs + quitosano y se coloca sobre el vaso químico en el plato agitador con la solución de STPP para formar las cápsulas, transcurridos 15 minutos se obtuvieron las cápsulas de NEPs + quitosano.

Prueba de patogenicidad en laboratorio

Se realizaron ensayos para evaluar los métodos de aplicación (libre y encapsulados) en el laboratorio de Protección Vegetal del IDIAP sede Cerro Punta. Para el método de aplicación de vida libre se utilizó concentraciones de 100, 200, y 300 nematodos diluidas en 1 mL/larvas y un testigo con una larva por plato Petri y 1 mL de agua destilada. Estas larvas fueron colectadas de campos y se dejaron durante un día con lechuga para descartar que hayan sido intoxicadas por algún químico. Se utilizaron 16 larvas de *Agrotis sp.* de distintos estadios. Una vez obtenido las concentraciones se inocularon en platos Petri con doble papel filtro, se dejó reposar por un minuto para homogeneizar la concentración en todo el plato. Estas fueron colocadas en los platos Petri y alimentadas con lechugas. Se colocaron en incubadora a 25 °C. La prueba de patogenicidad se registró a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas. Para verificar las larvas muertas por los NEPs se colocaron en Trampa White para la emergencia de los JI a los 8 días después de la infestación.

Para el método de encapsulado se evaluó el efecto de 3,000 NEPs por cápsula a la dosis de 2, 5 y 10 cápsulas/larva y un testigo con cápsulas que solo contenía quitosano, se utilizaron 16 larvas de *Agrotis sp.* se colocaron en platos Petri con doble papel filtro y 1 mL de agua destilada. Se siguió el procedimiento anteriormente descrito en el método de aplicación libre.

Ensayo realizado en campo

Se realizaron en los terrenos del IDIAP Cerro Punta utilizando métodos biológicos, químicos y una práctica cultural. Este ensayo consistió en cinco tratamientos y cuatro réplicas colocados de manera aleatoria en todo el terreno. Los tratamientos son: 1. Testigo sin ninguna aplicación, 2. NEPs aplicados de forma libre, 3. Lechugas tratadas con Clorpirifos 75% (una práctica cultural que funciona como trampa para atraer al insecto para ingerir la lechuga tratada y muera), 4. Insecticida Clorpirifos 75%, aplicado en forma líquida y 5. Insecticida Engeo (Thiametoxam y



Lambda cihalotrina). El tratamiento dos y tres se realizaron dos días antes, el tratamiento dos se inocularon 900,000 JI por cada réplica y el tratamiento 4 y 5 se realizó sumergiendo la plántula de lechuga durante 15 segundos en la solución de los insecticidas y posterior colocadas en parcelas de 6 m² (5 m de largo x 1.20 m de ancho). Se colocaron 80 plantas de lechuga por parcela. El parámetro evaluado fue la eficacia de cada tratamiento en minimizar los cortes por *Agrotis* sp. durante 15 días de evaluación.

Análisis estadístico

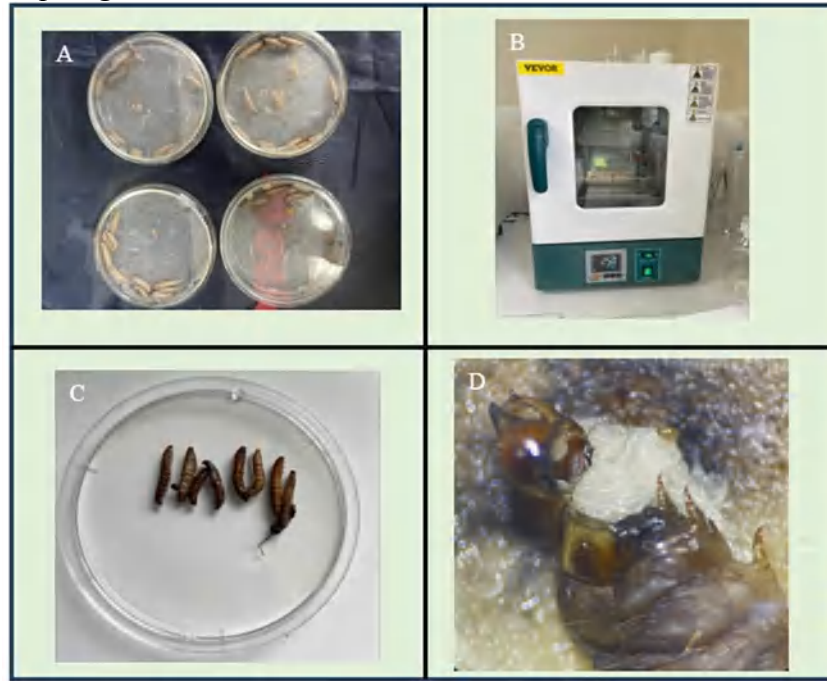
Se empleó un diseño completamente al azar. Los datos obtenidos se tabularon en una hoja de cálculo de Microsoft Excel® 2021. La supervivencia en la prueba de patogenicidad entre los diferentes tratamientos se evaluó con el estimador no paramétrico de Kaplan-Meier. Diferencias entre ensayos de campo en el número de cortes fueron evaluados con Modelos Lineales Generalizados y ajustados por la distribución de Poisson. Interacciones significativas fueron evaluadas con la prueba de Bonferroni. Se consideró el valor de $p < 0.05$ como diferencia significativa entre tratamientos. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R con el entorno de desarrollo integrado RStudio (v. R 4.3.0, RStudio Inc).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el método de Baermann modificado se logró obtener las formas activas de *Heterorhabditis* sp. (hembras, machos, juveniles), en un tiempo entre 24 y 48 h. Asimismo, la multiplicación utilizando larvas de *G. mellonella* en su último estadio (Figura 1), resultó efectiva, debido a que se lograron obtener gran cantidad del nematodo juvenil (J3), hasta 1,550,000 NEPs/40 larvas de la polilla de la cera. Estos resultados permiten tener un pie de cría constante para ser utilizados en futuras investigaciones y experimentos en campo. La temperatura establecida a 25 °C facilita obtener juveniles infectivos en 7-10 días utilizando larvas de *G. mellonella* lo que representa una rápida multiplicación en este hospedero. Estos resultados de nuestro estudio difieren a los obtenidos por Cajusol y Requejo (2016), quienes utilizaron larvas de *G. mellonella*, para la multiplicación de NEPs, inoculando 4,000 NEPs sobre 200 larvas de *G. mellonella* en el último estadio. Logrando obtener 16,528,080 NEPs. El tiempo transcurrido para obtener nematodos juveniles de *Heterorhabditis* sp. fue de 11-19 a una temperatura de 20 °C. Por lo que consideramos que la influencia en los días para la obtención de nematodos juveniles está relacionada con la temperatura, como lo menciona Glazer (1996), tiene efectos profundos sobre los aspectos biológicos de los NEPs al afectar la supervivencia, infectividad y patogenicidad. Así como, el desarrollo, maduración y reproducción (Long *et al.*, 2000).

Figura 1

Multiplicación de nematodos entomopatógenos en larvas de ultimo estadio de Galleria mellonella. A) Larvas de G. mellonella en platos Petri con inoculación de nematodos. B) Incubadora marca Vevor a 25 °C. C) Larvas de G. mellonella con coloración rojiza o marrón. D) Emergencia de nematodos entomopatógenos en larvas de G. mellonella.

**Patogenicidad de *Heterorhabditis* sp.**

El análisis no paramétrico Kaplan-Meier muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ($X^2_{(6)}=54.01$, $P<0.001$). No obstante, en la figura 2 se muestra que las muertes se empiezan a registrar a partir de las 48 horas (h), todas las larvas murieron al quinto día con excepción del testigo (T0). Sin embargo, es notable mencionar que los tratamientos de forma libre T100 y T200 mostraron mejor resultado al ser los que más habían infectado a las larvas de *Agrotis* sp. a las 48 h, comparado con el tratamiento T300, esto se debe a que los NEPs necesitan entre 24 y 48 h para matar a su hospedero (Frost y Clarke, 2002). T300 en nuestro estudio mostró un porcentaje mayor de sobrevivencia, probablemente a que los NEPs presentaron competencias intraespecíficas. Según Hidalgo (2018), entre mayor sea la cantidad de nematodos a los que se exponga el insecto hospedero, más alta será la competencia intraespecífica entre ellos. Por tal motivo, al aplicar concentraciones de nematodos altas, la infección de las larvas puede no ser creciente, por el contrario, se mantiene estable o menor que cuando se usan concentraciones bajas.

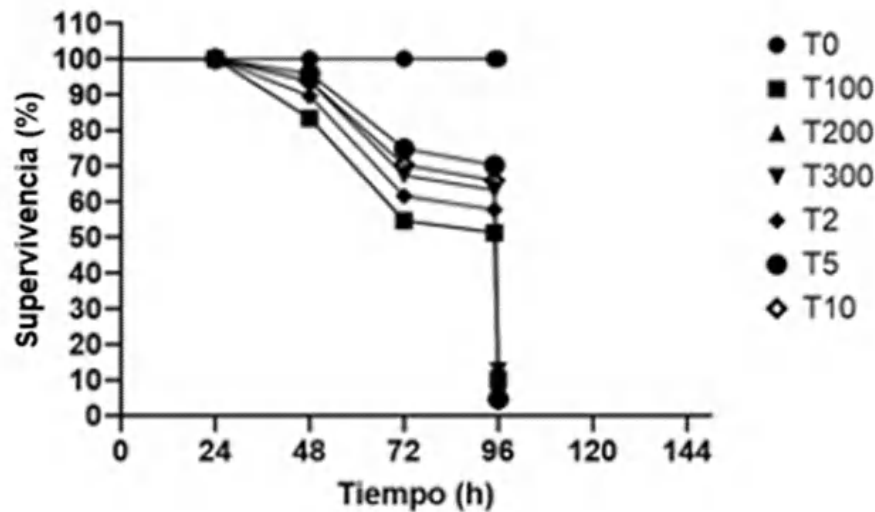
El método de cápsulas ha mostrado gran potencial como biocontrol para diferentes plagas de interés agrícola. Taylor (2018), evaluó las diferentes concentraciones de 3,000 y 4,000 JI/mL y dosis de 2 y 5 cápsulas/larva, los tratamientos de 5 cápsulas en las diferentes concentraciones logran 100% de mortalidad al cuarto día de evaluación. Miranda (2018), evaluó el efecto de diferentes dosis de cápsulas y concentraciones de nematodos sobre *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae). Donde el mejor porcentaje de mortalidad la obtuvo con 10 cápsulas y una concentración de 9,000 NEPs. Posiblemente, colocar un mayor número de cápsulas en el plato



Petri aumentó la posibilidad de contacto de los nematodos entomopatógenos y las larvas. Estos resultados difieren con los nuestros, ya que, el T2 (2 cápsulas/larva), fue el que arrojó mejores resultados comparados con los otros tratamientos. Esto puede atribuirse a lo mencionado en el estudio de Goud *et al.* (2010), el aumento de cápsulas por plato Petri insta a la competencia intraespecífica que puede afectar la capacidad para localizar e infectar las larvas. De igual manera, el aumento de nematodos entomopatógenos puede ocasionar la muerte de estos por lo anteriormente mencionado.

Figura 2

Supervivencia de larvas de Agrotis sp. inoculadas con nematodos entomopatógenos con diferentes métodos de aplicación (libre y cápsulas) con distintas concentraciones (100, 200, 300 NEPs/mL por larva y 2 cápsulas, 5 cápsulas y 10 cápsulas/mL por larva).



Ensayo en campo

El ensayo fue analizado a través de modelo lineales generalizados ajustados a la distribución de Poisson ($P < 0.05$) (Tabla 1). El rango de cortes estuvo entre 2 para el T2 (NEPs) hasta 28 que presento el T1 (testigo).

Tabla 1

Análisis de Distribución de Poisson con diferencia significativa ($P < 0.05$) para los tratamientos en campo (0.001).

Origen	Chi-cuadrado de Wald	Gl	Sig.
Intersección	8,247	1	0,004
Tratamiento	30,617	4	<0,001



De acuerdo con los resultados, hubo diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.001$). Tal como se puede observar en la tabla 2, podemos apreciar que el tratamiento de los NEPs (T2) presenta diferencia con el tratamiento (T1, T4), respectivamente.

Tabla 2

Valores de diferencia de medias para los tratamientos de campo, con intervalo de confianza al 95%.

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I - J)	Error estándar	Gl	Sig. Bonferroni	95% de intervalo de confianza de Wald para la diferencia	
						Inferior	Superior
T1	T2	6,50 ^a	1,369	1	0,006	2,66	10,34
	T3	6,25 ^a	1,392	1	0,000	2,34	10,16
	T4	2,75	1,677	1	1,000	-1,96	7,46
	T5	5,25 ^a	1,479	1	0,004	1,1	9,40
T2	T1	-6,50 ^a	1,369	1	0,000	-10,34	-2,66
	T3	-0,25	0,559	1	1,000	-1,82	1,32
	T4	-3,75 ^a	1,09	1	0,006	-6,81	-0,69
	T5	1,25	0,75	1	0,956	-3,36	0,86
T3	T1	-6,25 ^a	1,392	1	0,000	-10,16	-2,34
	T2	0,25	0,559	1	1,000	-1,32	1,82
	T4	-3,50 ^a	1,118	1	0,017	-6,64	-0,36
	T5	-1,00	0,791	1	1,000	-3,22	1,22
T4	T1	2,75	1,677	1	1,000	-7,46	1,96
	T2	-3,75 ^a	1,09	1	0,006	0,69	6,81
	T3	-3,50 ^a	1,118	1	0,017	0,36	6,64
	T5	2,50	1,225	1	0,412	-0,94	5,94
T5	T1	-5,25 ^a	1,479	1	0,004	-9,4	-1,10
	T2	1,25	0,75	1	0,956	-0,86	3,36
	T3	1,00	0,791	1	1,000	-1,22	3,22
	T4	-2,50	1,225	1	0,412	-5,94	0,94

^a Indica diferencia significativa en 0.05.

Los resultados muestran que en el tratamiento T2 (NEPs), solamente se observaron dos cortes por *Agrotis* sp. comparados con los 28 de T1. Donde el T2 representa una alternativa altamente viable, amigable, efectiva para el control de plagas de insectos en cultivos de interés agrícola para Panamá (Tabla 2). Esto se debe probablemente a mecanismos de defensa como el efecto guardaespaldas que poseen algunas plantas para atraer a enemigos naturales de plagas insectiles que las afectan (Turlings *et al.*, 1991). Es importante seguir evaluando a los NEPs, como el de este estudio, debido a su potencial patogénico y control frente a plagas de interés agrícola. Asimismo, evaluar ante otras especies de plantas para estimar la interacción que existe entre planta y enemigo natural, para medir la capacidad de atracción y búsqueda de parte de los NEPs.



CONCLUSIONES

- La metodología de extracción, multiplicación y encapsulación de los nematodos entomopatógenos garantiza una población constante para su aplicación.
- El porcentaje de mortalidad de *Agrotis* sp. por los nematodos entomopatógenos en forma libre y encapsulados resultaron ser efectivos.
- Los nematodos entomopatógenos resultaron lograron disminuir los cortes, que ocasiona *Agrotis* sp. por lo que representa una alternativa amigable para el control de esta plaga.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá sede experimental Cerro Punta por abrirme las puertas de sus instalaciones, laboratorio que me permitió realizar este trabajo de investigación, de igual manera, haberme permitido crecer como profesional en las ciencias agrícolas de Panamá. A la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por permitirme ser parte del proyecto de Investigación Microencapsulación de microorganismos para el control de plagas en hortalizas de Tierras Altas, de Chiriquí.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogantes, D., Flores, L., Castellón, E. y Uribe, L. (2018). Encapsulamiento de nematodos entomopatógenos en materiales basados en biopolímeros y su efecto sobre *Galleria mellonella*. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 9-27.
- Burnell, A. y Stock, S. (2000). *Heterorhabditis*, *Steinernema* and their bacterial symbionts-lethal pathogens of insects. *Nematology*, 2(1), 31-42.
- Cajusol, M. y Requejo, L. (2016). Conservación de nematodos entomopatógenos (*Heterorhabditis bacteriophora* y *Heterorhabditis* sp.) en tres sustratos a diferente tiempo y temperaturas en almacenamiento en laboratorio [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú]. Recuperado 20 de abril de 2022 en: https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/842/Cajusol_V%C3%A9liz_Maris_Estela_y_Requejo_Sanchez_Liseth.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Candanedo, E., Caballero, G., Cabezón, P. y Reina, D. (2019). Prospección, identificación, crianza y eficacia biológica de capas nativas de nematodos entomopatógenos y microorganismos beneficios para el control biológicos insectiles y patógenos, en zonas de producción agrícola en Panamá Este y Colón. Instituto De Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Recuperado el 9 de agosto de 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Eric.CandanedoLay/publication/344418049_BIOPROSPECCION_Y_CONSERVACION_DE_CEPAS_NATIVAS_DEL_NEMATODO/link/s/5f73810e458515b7cf5862a5/BIOPROSPECCION-Y-CONSERVACION-DE-CEPAS-NATIVAS-DEL-NEMATODO.pdf
- Cassidy, M., Lee, H. y Trevors, J. (1996). Environmental applications of immobilized microbial cells: A review. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 16(2), 79-101.



- Castillo, C., Gallegos, P., Asaquibay, C. y Oña, M. (2011). Guía de prospección y producción de nematodos entomopatógenos. INIAP, EESC, Departamento Nacional de Protección Vegetal. Quito. *Manual técnico* No. 88.
- Esquivel, A. (2013). Práctica número 1 métodos de extracción de nematodos. Consultado en línea el 16 de agosto de 2023, disponible en: <http://nemaplex.ucdavis.edu/Courseinfo/Curso%20en%20Espanol/LAB%201%20%20Extracci%C3%B3n%202013.pdf>
- Frost, S. y Clarke, D. (2002). Bacteria-nematode symbiosis. En R. Gaugler (Ed.), *Entomopathogenic Nematology* (pp. 57-77). New York, USA, CABI Publishing.
- García, C., González, M. y Cortez, E. (2012). Uso de enemigos naturales biorracionales para el control de plagas de maíz. *Ra Ximhai*, 8(3), 57-70.
- Giannasi, A., Brambila, C., Zart, M., Guide, B. y Alves, V. (2018). Evaluación de nematodos entomopatógenos en *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) bajo condiciones de laboratorio e invernadero. *Revista Colombiana de Entomología*, 44(1), 25-31. <https://doi.org/10.25100/socolen.v44i1.6533>.
- Glazer, I. (1996). Survival Mechanisms of Entomopathogenic Nematodes. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3), 373-378.
- Goud, S., Hugar, P. S. y Prabhuraj, A. (2010). Effect of temperature, population density and shelf life of EPN *Heterorhabditis indica* (RCR) in sodium alginate gel formulation. *Journal of Biopesticides*, 3(3), 627-632.
- Hidalgo, E. (2018). Nematodos entomopatógenos en el Noreste de México y su patogenicidad y virulencia sobre *Tenebrio molitor* L. [Tesis de bachiller, Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro, Coahuila, México] Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/43337/Hidalgo%20Mayorga,%20Eduardo.pdf?sequence=1>
- Jiménez, E. (2009). Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Recuperado 13 de agosto de 2023. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/2457/1/nh10j61c.pdf>
- Klein, M. G. (1990). Efficacy against soil-inhabiting insect pests. En R. Gaugler & H.K. Kaya (Eds.), *Entomopathogenic nematodes in biological control* (pp. 195-214). Boca Raton: CRC Press.
- Long, S. J., Richardson, P. N. y Fenlon, J. S. (2000). Influence of temperature on the infectivity of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.) to larvae and pupae of the vine weevil *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Nematology*, 2(3), 309-317.



- Mantoo, M. A., Zaki, F. A. y Waliullah, M. I. S. (2012). Virulence of Kashmir isolate of EPN *Heterorhabditis bacteriophora* (Nematoda: Heterorhabditidae) against black cutworm (*Agrotis ipsilon*). *SKUAST Journal of Research*, 14, 67-72.
- Miranda, R. (2018). Evaluación de la infectividad de nematodos entomopatógenos *Heterorhabditis* sp. CIA-NE07 formulado en microcápsulas de alginato sobre larvas de la mosca chichera (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) en condiciones de laboratorio. [Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica] Consultado 23 de septiembre de 2023. Disponible en <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/7520/1/44065.pdf>.
- Mnyone, L., Kirby, L., Lwetoijera, D., Mpingwa, M., Knols, D., Takken, W. y Russell, T. (2009). Infection of the malaria mosquito, *Anopheles gambiae*, with two species of entomopathogenic fungi; effects; concentrations coformulations, exposure time and persistence. *Malaria Journal*, 8, 309.
- Moreno-Serrano, D., González, G., Castrejón, K., Vargas, R., Rodríguez-Hernández, B. y Ríos-Moreno, A. (2022). Patogenicidad de aislados nativos (*Beauveria bassiana*) y (*Cordyceps javanica*) sobre larvas de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4(2), 31-43. https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/2925
- Stock, S. y Goodrich, H. (2012). Nematode parasites, pathogens and associates of insects and invertebrates of economic importance. In L.A. Lacey (Ed.), *Manual of techniques in invertebrate pathology* (2d edition, pp. 373-426). Academic Press, London, United Kingdom.
- Sun, P., Ping, L., Yu-Min, L., Qin, W. y Lin-Hong, T. (2011). A pH sensitive chitosan-tripolyphosphate hydrogel beads for controlled glipizide delivery. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 97B(1), 175-183. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.31801>
- Taylor, E. (2018). Optimización para la formulación de cápsulas de nematodos entomopatógenos *Heterorhabditis* sp. (Heterorhabditidae) mediante la evaluación de dos métodos de encapsulamiento. [Tesis de Grado, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica]. Consultado 23 de septiembre de 2023. Disponible en <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/7509/1/44062.pdf>
- Turlings, T., Tumlinson, J., Heath, R., Proveaux, A. y Dolittle, R. (1991). Isolation and identification of allelochemicals that attract the larval parasitoid *Cotesia marginiventris* (Cresson), to the microhabitat of one of its host. *Journal of Chemical Ecology*, 17(11), 2235-2251.
- Vassilec, N., Vassileva, M., Azcon, R. y Medina, A. (2001). Interactions of an arbuscular mycorrhizal fungus with free or co-encapsulated cells of *Rhizobium trifoli* and *Yarrowia lipolytica* inoculated into a soil-plant system. *Biotechnology Letters*, 23, 149-151.



Vargas, R., Olivares, N. y Ubillo, A. (2008). Manejo Integrado de Resistencia (MIR) y selectividad de plaguicidas. En R. Ripa, & I.D.P.L. Droguett (Eds.), Manejo de plagas en paltos y cítricos (Vol. 23, pp. 155-162). La Cruz: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Consultado el 10 de agosto de 2023, disponible en: http://www.avocadosource.com/books/ripa2008/Ripa_Chapter_05b.pdf

Vemmer, M. y Patel, A. (2013). Review of encapsulation methods suitable for microbial biological control agents. *Biological Control*, 67, 380-389.

Woodring, J. y Kaya, H. (1988). *Steinernema* and *Heterorhabditis*: A hand handbook of biology and Techniques. *Southern Cooperative Series Bulletin*, 331, 1-30.



IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA BIOFLOC EN EL RECICLAJE DE NUTRIENTES, EL BIENESTAR ANIMAL Y LA SOSTENIBILIDAD DEL ECOSISTEMA

IMPACT OF BIOFLOC TECHNOLOGY ON NUTRIENT RECYCLING, ANIMAL WELFARE AND ECOSYSTEM SUSTAINABILITY

Bado, Merly. Universidad Tecnológica OTEIMA, Facultad de Ciencias Agroambientales, Panamá.

merly.bado@oteima.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0009-4673-1160>

Carneiro, Javier. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.

javier.carneiro@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-0813-8456>

*Guerra, Ivonne. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.

ivonne.guerra@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-2289-9534>

*Correo de Correspondencia: ivonne.guerra@up.ac.pa

Recibido: 08/10/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6548>

RESUMEN. La acuicultura representa importantes retos referentes al uso de aguas y la descarga de efluentes contaminantes. Esto conlleva la aplicación de tecnologías que reduzcan el uso de agua, mitiguen los impactos ambientales e incrementen la producción dentro del respecto de bienestar animal. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la tecnología biofloc en el reciclaje de nutrientes, bienestar animal y sostenibilidad en un cultivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Se emplearon dos tratamientos por triplicado: TBF= tecnología biofloc y C=sistema tradicional. El tratamiento TBF se preparó durante 14 días previos a la siembra de los peces. Se utilizaron 60 peces por tratamiento (20 por replica) con un peso inicial de 21.68 ± 2.42 gramos y una longitud total de 10.52 ± 1.08 centímetros. El tratamiento TBF mostró valores superiores de sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, amoníaco, nitrito y nitrato ($P > 0.05$). No se observó diferencias entre los tratamientos en las variables de comportamiento, estrés y salud ($P > 0.05$). Los peces en el TBF mostraron una mayor ganancia de peso ($P < 0.05$). El tratamiento TBF disminuyó el consumo de agua y la descarga de aguas residuales ($P < 0.05$). El tratamiento TBF resultó en una alternativa sostenible reduciendo el consumo de agua y la descarga de efluentes a través del reciclaje de nutrientes incrementando el desempeño productivo sin afectaciones a el bienestar animal.

PALABRAS CLAVE: acuicultura, desafíos ambientales, peces, productividad.

ABSTRACT. Aquaculture represents important challenges regarding water use and discharge of polluting effluents. This requires the application of technologies that reduce water use, mitigate environmental impacts and increase production while respecting animal welfare. The objective of this research was to evaluate the effect of biofloc technology on nutrient recycling, animal welfare and sustainability in a Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture. Two treatments were used in triplicate: TBF= biofloc technology and C= traditional system. The TBF treatment was prepared for 14 days prior to stocking the fish. 60 fish per treatment (20 per replicate) were used with an initial weight of 21.68 ± 2.42 grams and a total length of 10.52 ± 1.08 centimeters. The TBF treatment showed higher values of total dissolved solids, electrical conductivity, ammonia, nitrite and nitrate ($P > 0.05$). No differences were observed between treatments in the variables of behavior, stress and health ($P > 0.05$). Fish in the TBF showed greater weight gain ($P < 0.05$). The TBF treatment decreased water consumption and wastewater discharge ($P < 0.05$). The TBF treatment resulted in a sustainable alternative by reducing water consumption and effluent discharge through nutrient recycling, increasing productive performance without affecting animal welfare.

KEYWORDS: aquaculture, environmental challenges, fish, productivity.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el sector productivo que ha mostrado un crecimiento constante en la última década, aportando en 2022 más para consumo humano que la pesca de captura (Food and Agriculture Organization [FAO], 2024). La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) ha aumentado su producción hasta ocupar el tercer lugar en la lista de especies de peces cultivadas en todo el mundo que se comercializan ampliamente (FAO, 2022).

Sin embargo, la acuicultura actualmente enfrenta retos importantes ligados a los procesos de producción, como son alta demanda de agua (Yusoff *et al.*, 2024) y la eliminación continua de aguas residuales sin un tratamiento adecuado que puede causar graves problemas relacionados con la contaminación (Hlordzi *et al.*, 2020). Este problema tiene importantes repercusiones sobre las aguas superficiales y subterráneas, ya que se estima que la descarga mundial de aguas residuales alcanza 359.4×10^9 m³/año, de este volumen, se recolecta el 63% y se trata el 52% (Jones *et al.*, 2021).

La sostenibilidad de la producción acuícola necesita del establecimiento de granjas de producción cada vez más eficientes con respecto al uso de los recursos naturales, especialmente el agua y adicionalmente que sean biológicamente seguros. Estas necesidades han generado estrategias en donde el principal objetivo es reciclar los altos contenidos de materia orgánica del agua de cultivo, mejorando su calidad y adicionalmente emplearlos como alimento *in situ* para los organismos cultivados (Granado, 2000; Ekasari *et al.*, 2010; Haridas *et al.*, 2017).

En los sistemas acuícolas, los microorganismos desempeñan un papel fundamental como productores y consumidores de oxígeno disuelto, reciclando nutrientes (Lyautey *et al.*, 2005) y produciendo alimento para peces (Hargreaves, 2013). Entre estos sistemas destacan la técnica de cultivo de biofloc (TBF), también conocida como cultivos en suspensión activa o lagunas heterótrofas (Avnimelech, 2014), el cual fue desarrollado para resolver problemas de calidad de agua producidos por los residuos de alimento y excreciones de los organismos de cultivo, convirtiendo el exceso de nutrientes en los sistemas de acuicultura en biomasa microbiana, que a su vez es consumida por los animales en cultivo.

El principio básico de TBF es la retención de los residuos y su conversión a biofloc como un alimento natural dentro del sistema de cultivo (Haridas *et al.*, 2017). Con estos antecedentes el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de TBF en el reciclaje de nutrientes, bienestar animal y sostenibilidad en un cultivo de la tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área geográfica

La investigación se llevó a cabo entre los meses de enero y febrero de 2024 en una finca privada, ubicada en el distrito de La Pintada, provincia de Coclé, en las coordenadas 8.639936, latitud N y 80.436617, longitud O, a 111 m s.n.m.

Animales experimentales



El experimento fue realizado con 120 juveniles de Tilapia del Nilo con un peso inicial de 21.68 ± 2.42 gramos y una longitud total de 10.52 ± 1.08 centímetros. Los mismos fueron adquiridos en la finca de un productor local.

Tratamientos

Se realizaron dos tratamientos por triplicado detallados a continuación: TBF= tecnología biofloc, C= sistema tradicional. Los mismos fueron alojados en tanques de 500 L (L=litros) con un volumen útil de 450 L.

Tratamiento TBF

El biofloc se produjo en tanques de plástico de 500 L, a los cuales se les adicionó urea (46% de nitrógeno) como fuente de nitrógeno y melaza como fuente de carbono. Las fuentes de nitrógeno y carbono se añadieron una vez al día para mantener la relación C/N (carbono/nitrógeno) de 20, siguiendo la metodología propuesta por Avnimelech, (1999). Los tanques fueron equipados con un sistema auxiliar de bombeo de agua y oxigenación. Durante 14 días previos a la introducción de los peces, las condiciones de temperatura se estabilizaron en 29.1 ± 1.3 °C (grados Celsius), oxígeno disuelto 6.12 ± 0.43 mg/L (miligramos/Litro) y pH 7.4 ± 0.03 se determinaron utilizando un equipo multiparamétrico YSI 556 (HANNA®). Los valores de $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, se mantuvieron dentro de los rangos tolerados por la especie y fueron monitoreados empleando un fotómetro de análisis ambiental HI833306 (HANNA®).

Tratamiento C

El sistema tradicional consistió en una entrada y salida de agua constantes con un caudal de 15 L/h (Litros/hora). Se utilizó un sistema auxiliar de oxigenación similar al descrito en el tratamiento de biofloc.

Variables evaluadas

Variables fisicoquímicas del agua

Temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y sólidos disueltos totales, fueron evaluadas diariamente en un horario de (07:00 am - 12:00 pm y 06:00 pm) utilizando un equipo multiparámetro YSI 556 (HANNA®). Adicionalmente, se determinó amoníaco NH_3 , amonio NH_4^+ , nitrito NO_2^- , nitrato NO_3^- y fosfato PO_4^{3-} , empleando un fotómetro HI 83306 (HANNA®).

Variables de bienestar animal

Comportamiento

La actividad natatoria se evaluó como tiempo de congelamiento y número total de transiciones (Millot *et al.*, 2009). La prueba tuvo una duración de cinco minutos.

Estrés

Se evaluó la tasa ventilatoria, contando el tiempo necesario para realizar 20 movimientos operculares o bucales durante tres minutos, de acuerdo con la metodología propuesta por Silva *et al.* (2010); Calderer, (2001).

Salud

Se evaluó el daño de la aleta dorsal, uno de los indicadores más utilizados en la industria acuícola, adaptando la metodología propuesta por Botreau *et al.*, (2009).



Desempeño zootécnico

Ganancia de peso

Es la cantidad de peso que un animal gana en un periodo de tiempo dado. Se estimó de forma quincenal.

$$GP=PF-PI$$

En donde

GP= ganancia de peso (g)

PF= peso final (g)

PI= peso inicial (g)

Longitud total

LT (cm)= distancia en centímetros de la punta de la boca hasta el final de la aleta caudal.

Variables ambientales

Consumo de agua y descarga de efluentes

Se evaluó el consumo de agua y la descarga de efluentes en metros cúbicos por hora (m³/h) durante la duración del ensayo. El caudal de entrada en el sistema tradicional fue determinado 0.25 L/s (litros de agua por segundo). Se consideró un consumo de agua de 35 L/semana y una descarga de efluentes de 10 L/semana en el tratamiento de biofloc.

Diseño experimental y análisis de datos

Se empleó un diseño completamente al azar. Los datos obtenidos se tabularon en una hoja de cálculo de Microsoft Excel® 2021. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software R con el entorno de desarrollo integrado RStudio (v. R 4.3.0, RStudio Inc). Se verificó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y posteriormente, la prueba de Levene para verificar la homocedasticidad de varianzas, antes de realizar cualquier análisis estadístico. Congelamiento, peso y longitud total fueron evaluados con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Las variables número de transiciones, tasa ventilatoria y erosión de aleta dorsal fueron evaluadas mediante modelos lineales generalizados (GLZ) ajustados por la distribución de Poisson. Los resultados se expresaron como Media±DE (desviación estándar). Se empleó un alfa de P<0.05.

RESULTADOS

Variables fisicoquímicas del agua

La temperatura, oxígeno disuelto y pH no mostraron diferencias significativas entre los sistemas de producción (P>0.05). La conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, amoníaco, nitrito, nitrato y fosfato fueron significativamente mayores en el sistema biofloc (P<0.05, Tabla 1).

**Tabla 1**

Media ± DE, de las variables fisicoquímicas del agua ajustadas por la prueba de Mann-Whitney de los sistemas de producción.

Variable	Biofloc Media ± DE	C Media ± DE	U- Valor	p- valor
Temperatura	27.62±3.29	27.48±2.87	16264.50	0.50
Oxígeno disuelto	7.07±0.50	7.04±0.53	15705.50	0.23
pH	6.81±0.32	6.81±0.30	15647.00	0.21
Conductividad eléctrica	201.74±70.59	180.60±58.96	12911.00	<0.001
Sólidos disueltos totales	119.30±47.78	106.01±53.24	13951.50	0.003
Amoniaco	0.88±1.02	0.61±0.40	41.00	<0.001
Nitrito	0.21±0.13	0.05±0.02	36.50	<0.001
Nitrato	19.85±15.86	2.45±2.84	17.50	<0.001
Fosfato	0.47±0.33	0.27±0.48	60.00	0.005

Bienestar animal

Tiempo de congelamiento

No se encontraron diferencias significativas entre sistemas de producción en el tiempo de congelamiento (K-W=0.008, P=0.92).

Número de transiciones.

No se encontró un efecto significativo del sistema de producción en el número de transiciones (P>0.05, Tabla 2).

Tabla 2

Número de transiciones ajustadas por la familia Poisson de los sistemas de producción.

	Efectos Fijos	Estimador	Error Estándar	W- valor	P-valor	Significancia
	Intercepto (alfa)	0.16	0,08	3.62	0.05	
Sistema de Producción	C	Ref	Ref	Ref	Ref	
	Bio	0.05	0.08	0.53	0.46	

Tasa ventilatoria

La tecnología biofloc no tuvo un efecto significativo en la tasa ventilatoria (P>0.05, Tabla 3).



Tabla 3

Tasa ventilatoria ajustada por la familia Poisson de los de los sistemas de producción.

	Efectos Fijos	Estimador	Error Estándar	W-valor	P-valor	Significancia
	Intercepto (alfa)	4.51	0.009	224586.9	<0.001	***
Sistema de Producción	C	Ref	Ref	Ref	Ref	
	Bio	0.0003	0.009	0.0	0.96	

***p<0.001

Erosión de aleta dorsal

En la Tabla 4 se puede observar que el sistema biofloc no muestra diferencias significativas en el índice de erosión de la aleta dorsal (P>0.05).

Tabla 4

Erosión de aleta ajustada por la familia Poisson de los fenotipos de personalidad por sistemas de producción.

	Efectos Fijos	Estimador	Error Estándar	W-valor	P-valor	Significancia
	Intercepto (alfa)	0.56	0.06	65.18	<0.001	***
Sistema de Producción	C	Ref	Ref	Ref	Ref	
	Bio	-0.02	0.06	0.18	0.66	

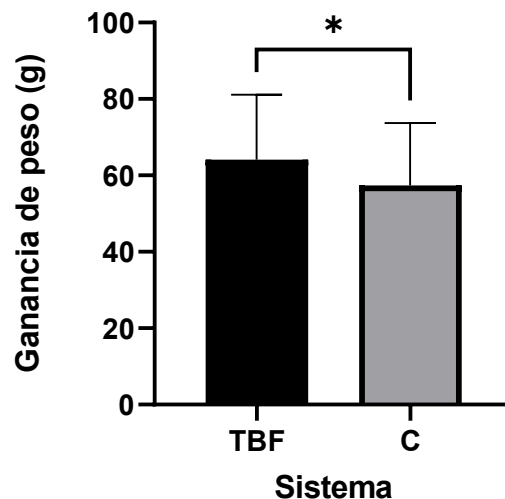
***p<0.001

Ganancia de peso

Existe un efecto significativo del sistema de producción durante el desarrollo de la investigación (U=1401.00, P=0.03, Figura 1).

Figura 1

*Media ± DE, de la ganancia de peso de los sistemas de producción. *P<0.05.*



Longitud total

No se encontraron diferencias significativas en la longitud total entre los sistemas de producción (U=1589.0, P=0.26).

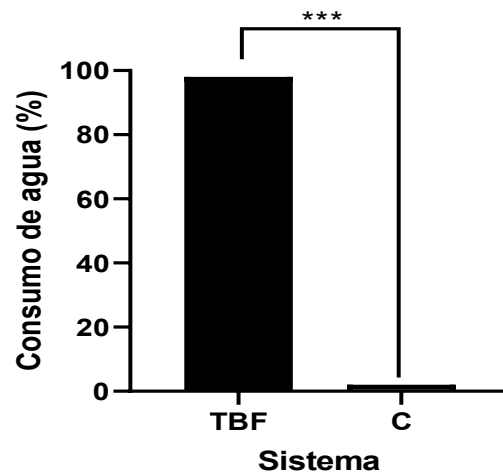
Variables ambientales

Consumo de agua

El sistema biofloc consumió 98% menos agua que el sistema tradicional ($X_1^2=192.16$, $P<0.001$, Figura 2).

Figura 2

Consumo de agua en porcentaje de los sistemas de producción evaluados. *** $P<0.001$.

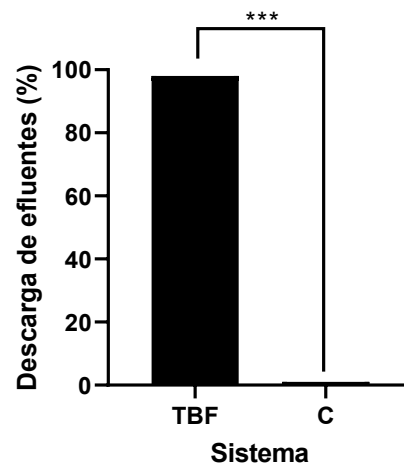


Descarga de efluentes

El sistema biofloc produjo 99% menos descarga de aguas residuales que el sistema tradicional ($X_1^2=196.04$, $P<0.001$, Figura 3).

Figura 3

Descarga de efluentes en porcentaje de los sistemas de producción evaluados. *** $P<0.001$.





DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación destacan que la tecnología biofloc es una alternativa viable para el reciclaje de nutrientes en los sistemas acuícolas. Nuestros hallazgos indican que esta tecnología redujo el uso de agua y la descarga de efluentes, contribuyendo a mantener la estabilidad del ecosistema. Además, es una tecnología que garantiza la seguridad alimentaria en el marco de bienestar animal.

Los sólidos disueltos totales fueron significativamente mayores en el tratamiento TBF, lo cual es una característica típica de estos sistemas. En el sistema de biofloc, debido al proceso de reciclaje de nutrientes, la materia orgánica se encuentra en mayor cantidad, y tanto los sólidos disueltos como los suspendidos representan aproximadamente la mitad de este aporte (Kubitza, 2022). La conductividad eléctrica fue superior en TBF; este resultado está relacionado a los valores de sólidos disueltos totales obtenidos, ya que ambas variables están estrechamente correlacionadas y representan los iones de calcio, magnesio, sales y sólidos solubles que son buenos conductores eléctricos (Jiménez Jumbo *et al.*, 2024).

Los valores de las formas nitrogenadas y el fosfato fueron superiores en el tratamiento con biofloc. A pesar de que las formas nitrogenadas como el $\text{NO}_3\text{-N}$ y $\text{NO}_2\text{-N}$ fueron superiores en el biofloc, no mostraron signos adversos en el bienestar animal y desempeño productivo. La falta de efectos adversos puede estar ligada a que el tratamiento TBF mostró valores inferiores de 1 mg/L; en este sentido, Boyd y Pillai (1985), indican que valores superiores al 1 mg/L en nitrito pueden causar mortalidad en peces de cultivo.

Los valores estadísticamente superiores en las formas nitrogenadas pueden estar asociados a que las comunidades de bacterias heterotróficas no están totalmente desarrolladas, y la eficiencia en la utilización y eliminación se ve afectada. Por ejemplo, en un estudio de Du *et al.*, (2018) donde utilizaron glucosa y almidón como fuentes de carbono orgánico junto con bacterias heterotróficas (*Bacillus* sp.), encontraron que las bacterias jugaron un papel fundamental en la reducción del nitrito, destacando claramente el papel de estas comunidades de microorganismos heterotróficos en el ciclo del nitrógeno en sistemas acuícolas.

Las variables de bienestar animal, comportamiento, estrés y salud no se vieron afectadas por la tecnología biofloc. Este resultado es interesante si tomamos en cuenta que estamos utilizando una tecnología que puede afectar variables fisicoquímicas importantes para el bienestar animal como es el oxígeno disuelto. En este estudio, el oxígeno disuelto no fue diferente entre tratamientos y en el tratamiento BFT mostró valores superiores de 7 mg/L, que son apropiados para la tilapia del Nilo. Este resultado es diferente al estudio de Long *et al.*, (2015) con la misma especie, en donde reportaron valores superiores de oxígeno disuelto en el grupo control en comparación con el tratamiento con biofloc. Esta diferencia en los niveles de oxígeno en los tratamientos entre ambos estudios puede estar relacionada a la densidad utilizada que en el estudio citado fue de 3 Kg/m³ y en nuestro caso fue de 0.85 Kg/m³.

Los peces del tratamiento TBF mostraron mayor ganancia de peso que el control empleando la misma tasa de alimentación. Se ha demostrado que los flóculos que forman el biofloc funcionan como una fuente de alimento integral (Becerril-Cortés *et al.*, 2018). En este mismo sentido, Ahmad



et al., (2020) reportaron que la eficiencia de absorción de proteína se mejora considerablemente en los sistemas biofloc, lo que se ve reflejado en una mayor ganancia de peso. Una mayor ganancia de peso en el tratamiento de biofloc podría también estar explicada por la digestibilidad del alimento producto del tipo de proteína que se forma en los flóculos, mejorando el consumo de alimento (Santaella *et al.*, 2018).

El consumo de agua del tratamiento de biofloc fue solo el 2% del tratamiento tradicional. Esto tiene importantes repercusiones si tomamos en cuenta que el agua es cada vez más escasa y es un recurso necesario para el desarrollo de la acuicultura, que genera una fuerte competencia para consumo humano y de otras especies incrementando sus costos (Crab *et al.*, 2012).

La descarga de aguas residuales se redujo un 99% con la tecnología biofloc; este dato es relevante si vemos que la acuicultura se relaciona con impactos ambientales asociados a las descargas de efluentes con altos contenidos de formas nitrogenadas y fósforo que afectan la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (Khanjani *et al.*, 2024).

CONCLUSIONES

La tecnología biofloc es apropiada para el reciclaje de nutrientes, reduce el impacto ambiental y no afecta el bienestar animal de las especies acuáticas cultivadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, A. F., Nasr, M., Guldhe, A., Kumar, G. S., Rawat, I. y Bux, F. (2020). Techno-economic feasibility of algal aquaculture via fish and biodiesel production pathways: A commercial scale application. *Science of The Total Environment*, 704, 135259.
- Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176 (3-4), 227-235.
- Avnimelech, Y. (2014). Biofloc technology. A practical guidebook. Third editions. https://www.researchgate.net/publication/308052605_Biofloc_technology_A_practical_guide_book_The_World_Aquaculture_Society
- Becerril-Cortés, D., Monroy-Dosta, M., Emerenciano, M., Castro-Mejía, G., Bermúdez, B. S. y Correa, G. (2018). Effect on nutritional composition of produced bioflocs with different carbon sources (Molasses, coffee waste and rice bran) in Biofloc System. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6, 541-547.
- Botreau, R., Bracke, M. B. M., Perny, P., Butterworth, A., Capdeville, J., Van Reenen, C. G. y Veissier, I. (2007). Aggregation of measures to produce an overall assessment of animal welfare. Part 2: analysis of constraints. *Animal*, 1, 1188-1197.
- Boyd, C. E. y Pillai, V. (1985). Water quality management in aquaculture. *CMFRI Special Bulletin*, 22, 1-44.



- Calderer, A. (2001). Influencia de la temperatura y la salinidad sobre el crecimiento y consumo de oxígeno de la dorada (*Sparus aurata* L.). Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. 64p.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P. y Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356-357, 351-356.
- Du, X., Almeida, D., Song, D., Zhao, Z., Luo, L., Wang, C., Li, J., Wang, L., Ji, F. y Xu, Q. (2018). Effects of organic carbon addition on water quality and phytoplankton assemblages in biofloc technology ponds. *Aquaculture*, 497, 155-163.
- Ekasari, J., Crab, R. y Verstraete, W. (2010). Primary nutritional content of bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *HAYATI Journal of Biosciences*, 17, 125-30.
- Food and Agriculture Organization. (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. La transformación azul en acción. Roma. Editorial FAO, Editorial FAO, <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683es>
- Food and Agriculture Organization. (2024). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción Roma. Editorial FAO, <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683es>
- Granado, A. (2000). Efecto de la densidad de cultivo sobre el crecimiento de morocoto *Piaractus brachyomus*, Cuvier, 1818, (pisces: Characiforme), confinado en jaulas flotantes. Instituto limnológico. Universidad de oriente, Caicara del Orinoco. Venezuela. *Saber*, 12, 3-7.
- Hargreaves, J. A. (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center*, 4503, 1-12.
- Haridas, H., Verma, A. K., Rathore, G., Prakash, C., Sawant, P. B. y Rani, A. M. B. (2017). Enhanced growth and immuno-physiological response of Genetically Improved Farmed Tilapia in indoor biofloc units at different stocking densities. *Aquaculture Research*, 48, 4346-4355.
- Hlordzi, V., Kuebutornye, F. K. A., Afriyie, G., Abarike, E. D., Lu, Y., Chi, S. y Anokyewaa, M. A. (2020). The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: a review. *Aquaculture Reports*, 18, 100503.
- Jiménez Jumbo, L. D., Arias Ramírez, B. J., Arias Pastuna, M. A. y Reyes Cordova, A. L. J. (2024). Relación empírica entre sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica en las piscinas de cultivo piscícola del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica de la Universidad Estatal Amazónica. *Technology Rain Journal*, 3(1), e25.
- Jones, E., van Vliet M. T. H., Qadir, M. y Bierkens, M. F. P. (2021). Country-level and gridded wastewater production, collection, treatment and reuse. *Earth System Science Data*, 13, 237-254.



- Khanjani, M. H., Sharifinia, M. y Emerenciano, M. (2024). Biofloc Technology (BFT) in Aquaculture: What Goes Right, What Goes Wrong? A Scientific-Based Snapshot. *Aquaculture Nutrition*, 2024, 7496572.
- Kubitza, F. (2022). Fundamentos da piscicultura em sistemas de recirculação. 1ª edição, Jundiaí, SP-Brasil.
- Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., & Wu, F. (2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 448, 135-141.
- Lyautey, E., Lacoste, B., Ten-Hage, L., Rols, J. L. y Garabetian, F. (2005). Analysis of bacterial diversity in river biofilms using 16S rDNA PCR-DGGE: methodological settings and fingerprints interpretation. *Water Research*, 39, 380-8.
- Millot, S., Bégout, M. L. y Chatain, B. (2009). Exploration behaviour and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). *Applied Animal Behaviour Science*, 119, 108-114.
- Santaella, S., Vale, M., Cabral, C., de-Araujo, W., Pinto, A. y Viana, O. (2018). Biofloc production in activated sludge system treating shrimp farming effluent. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23, 1143-1152.
- Silva, P. I. M., Martins, C. I. M., Engrola, S., Marino, G., Øverli, Ø. y Conceição, L. E. C. (2010). Individual differences in cortisol levels and behaviour of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles: Evidence for coping styles. *Applied Animal Behaviour Science*, 124, 75-81.
- Yusoff, F. M., Umi, W. A. D., Ramli, N. M. y Harun, R. (2024). Water quality management in aquaculture. Cambridge Prisms: *Water*, 2(e8), 1-22.



IMPACTO DEL MANEJO ANTE MORTEM EN LA INCIDENCIA DE CORTES OSCUROS Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE BOVINA

IMPACT OF ANTE MORTEM MANAGEMENT ON THE INCIDENCE OF DARK CUTS AND ITS EFFECT ON BEEF QUALITY

*Bonilla, Pacífico. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá.
pacifico.bonilla@up.ac.pa <https://orcid.org/0009-0006-2123-9282>

Guerra, Pedro. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.
pedroguerram16@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>

Melgar, Audino. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, Panamá.
audino.melgarm@idiap.gob.pa <https://orcid.org/0000-0001-8491-0236>

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

*Correo de Correspondencia: pacifico.bonilla@up.ac.pa

Recibido: 12/10/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6549>

RESUMEN. El objetivo del presente trabajo fue analizar la incidencia de cortes oscuros en carne bovina y su relación con el pH muscular *post mortem* y cómo afecta la calidad del producto final. Los cortes oscuros son causados por un pH inadecuado en el músculo, lo que provoca un color oscuro y textura seca. Se recolectaron datos de 68 animales de la raza Brahman, procedentes de dos fincas. Las muestras se tomaron 24 horas *post mortem* en el músculo *longissimus dorsi*. Para el análisis estadístico se utilizó un modelo de regresión simple y cuadrática sin intercepto y el coeficiente de correlación de Pearson. La incidencia de cortes oscuros fue del 16.2% (n=11; pH ≥ 5.8) de los cuales nueve animales pertenecían a la finca uno. Se observó una correlación negativa fuerte (P<0.01) entre pH y color, sugiriendo una relación inversa entre ambas. A medida que el pH aumenta, los valores de color disminuyen. También se observó una correlación negativa débil (P<0.05) entre pH y peso de la canal. Es probable que el incremento en pH esté asociado con una disminución en el peso de la canal; sin embargo, la magnitud de esta relación es baja, sugiriendo que otros factores podrían tener una influencia más significativa sobre el peso.

PALABRAS CLAVE: canal, carne, color, músculo, pH, peso.

ABSTRACT. The objective of this study was to analyze the incidence of dark cuts in beef and their relationship with *post mortem* muscle pH and how it affects the quality of the final product. Dark cuts are caused by inadequate muscle pH, which results in dark color and dry texture. Data were collected from 68 Brahman animals from two farms. Samples were taken 24 hours *post mortem* from the *longissimus dorsi* muscle. A simple quadratic regression model without interception and Pearson's correlation coefficient were used for statistical analysis. The incidence of dark cuts was 16.2% (n=11; pH ≥ 5.8) of which nine animals belonged to farm one. A strong negative correlation (P<0.01) was observed between pH and color, suggesting an inverse relationship between the two. As pH increases, color values decrease. A weak negative correlation (P<0.05) was also observed between pH and carcass weight. It is likely that an increase in pH is associated with a decrease in carcass weight; however, the magnitude of this relationship is low, suggesting that other factors may have a more significant influence on weight.

KEYWORDS: carcass, color, meat, muscle, pH, weight.



INTRODUCCIÓN

Cuando el manejo implementado en los animales es inadecuado antes del sacrificio, el glucógeno del músculo se consume debido a la tensión o estrés, al que se somete el animal (Lawrie *et al.*, 2006), esto provoca alteraciones metabólicas y hormonales en el músculo del animal vivo, lo que afecta tanto el color como el pH final pHF del músculo *post mortem* (≥ 5.8), debido a una baja producción de ácido láctico en la canal, fenómeno conocido como carne de corte oscuro (Hughes *et al.*, 2017). Como consecuencia, la vida útil de la carne se reduce y las características organolépticas de la carne pueden llegar a ser menos aceptable para el consumidor (Huff-Lonergan *et al.*, 2005), causando pérdidas económicas a los productores y comerciantes (Holdstock *et al.*, 2014).

El pH muscular de la carne resulta ser una medida interesante para cuantificar el nivel de reserva energética en el músculo y además para valorar cómo ha sido tratado el animal antes del faenamiento. Se considera que el pH típico de la canal de un animal bien alimentado y no estresado cae aproximadamente de 7.2 a más o menos 5.4, según lo reportado por (Onopiuk *et al.*, 2016). Cualquier situación de estrés con un pH final de la carcasa por encima de 6.0 a 6.2 ocasionará colores oscuros de la carne (Hernández *et al.*, 2013). En el mismo sentido Gallo (2012) mencionan que, entre los factores predisponentes de corte oscuros en bovinos, existe una relación positiva con el tiempo del transporte y el descanso previo al faenamiento.

No existe un sistema universal para definir corte oscuro en todos los países. Algunos clasifican la carne según el color, mientras que otros usan el pH de la carne como criterio para evaluar el corte oscuro. El corte oscuro en la carne de res se describe como carne oscura, firme y seca en la superficie cuando se examina a simple vista dentro del espectro visible. Esta condición puede ser causada por muchos factores, como la nutrición, la edad del animal, la duración del transporte al matadero, el clima, las estrategias de implantación hormonal, los tiempos de espera antes del sacrificio, los sistemas de procesamiento en las plantas de sacrificio, el temperamento, la agresividad de los animales y hasta cierto punto enfermedades subclínicas (Ponnampalam *et al.*, 2016).

El agotamiento del glucógeno muscular durante el proceso de sacrificio incluidas todas las etapas inmediatas previas al sacrificio y después de la muerte conduce a una disminución en el contenido de ácido láctico muscular y por consiguiente un aumento en el pH muscular. Para el músculo anaeróbico, el metabolismo del glucógeno es la única fuente de energía disponible y para alcanzar un pH de 5.5, el músculo debe tener 57 μ moles de glucógeno disponibles/g de músculo (Tarrant, 1989). Se ha encontrado un efecto directo del pH en el desarrollo del color, por lo que hay una reducción en el grosor de la capa de oximioglobina en la superficie de la carne oscura a medida que aumenta el pH y un aumento en la translucidez de la carne (Renerre, 1990).

Panamá no cuenta con un patrón para evaluar cortes oscuros en carne bovina, la falta de un patrón de evaluación puede tener un impacto negativo en la calidad de la carne producida y en la confianza del consumidor en la industria cárnica. Es necesario conocer datos sobre las incidencias de cortes oscuros en carne bovina debido a su impacto directo en la calidad de la carne. La falta de esta información dificulta la identificación y control de problemas de calidad, lo que puede afectar



negativamente la industria cárnica. El objetivo del estudio fue analizar la incidencia de cortes oscuros en la carne bovina y su relación con el pH muscular post mortem.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el matadero Coclesana De Carnes Penonomé, ubicado en el distrito de Penonomé, Provincia de Coclé, localizada entre los 8°29'09.4" N y 80°19'41.3" E. El promedio anual según datos de dos estaciones meteorológicas de la región, la temperatura ambiental está entre 26 a 30 °C; mientras que la humedad se encuentra en un porcentaje entre 82 y 84 y la elevación es de 95 m s.n.m.

Los datos se recopilaban de 68 animales, y para asegurar una mejor distribución y uniformidad, se seleccionó exclusivamente la raza Brahman, proveniente de dos fincas locales. La primera finca sacrificaba tanto hembras como machos, mientras que la segunda se enfocaba únicamente en el sacrificio de machos.

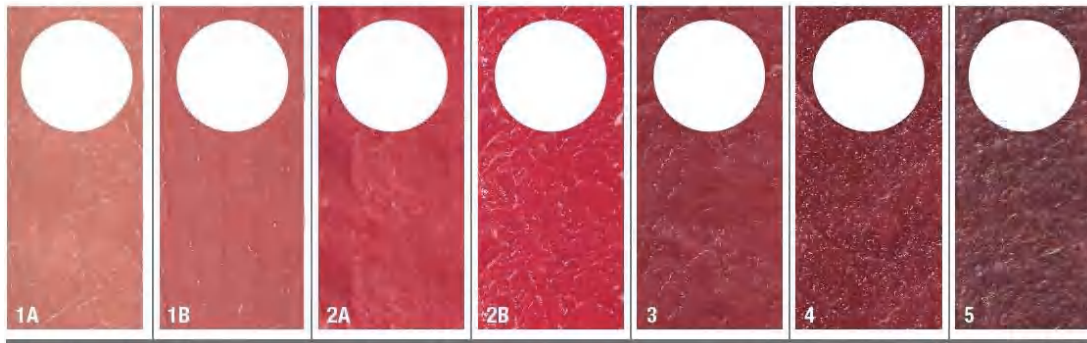
Las muestras se recolectaban 24 horas *post mortem* en el músculo *longissimus dorsi*. Las muestras de color se tomaban con el colorímetro modelo WR-10QC®, el pH con Milwaukee's MW102 Digital® y peso en la canal con la balanza digital Mophorn® de cinco toneladas.

Para medir pH en la carne fresca, utilizamos un potenciómetro digital Milwaukee MW102®. El electrodo se calibró previamente con soluciones buffer de pH 4 y 7 antes de realizar las mediciones en el músculo *longissimus dorsi*. El electrodo se insertó de forma perpendicular a una profundidad de dos centímetros en el músculo, evitando el contacto con grasa o tejido conectivo. Se recomendó realizar al menos dos lecturas por muestra, verificando periódicamente el funcionamiento del electrodo sumergiéndolo en agua destilada y secándolo antes de cada nueva medición. Para medir el color en carne fresca se utilizó un instrumento llamado colorímetro Modelo WR-10QC®. Este instrumento es empleado para cuantificar de manera objetiva las ondas de color, en el espectro CIELAB. El proceso se inició retirando la grasa externa del músculo, seleccionando una zona específica en el músculo *longissimus dorsi*.

La clasificación cromática empleada para este estudio de la carne se basó en la estructura definida por Salinas (2014), que se compone de siete categorías visuales (Figura 1). Las primeras dos categorías (1A y 1B) corresponden a los colores más pálidos y estos a la vez coinciden con valores más altos de L*. Conforme cada categoría visual aumenta su valor nominal los valores de L* decrecen, de este modo las categorías 2A y 2B corresponden a los colores rojos cereza, la categoría 3 al rojo intenso, la categoría 4 al rojo ligeramente oscuro y finalmente la categoría 5 indica la carne proveniente de cortes oscuros, siendo esta categoría la que presenta los valores más bajos de L* y que se corresponde con el color descrito en el patrón visual para evaluar el color.

Figura 1

Patrón o paleta cromática para la evaluación visual del color de la carne de bovino.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Para el análisis de pHF y peso en la canal se utilizó el modelo de regresión simple y cuadrática sin intercepto (pasando por el origen).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e$$

Donde: Y = es la observación de pHF (variable dependiente); β_0 = intercepto del modelo; $\beta_1 X$ = coeficiente de regresión que indica cuánto cambia el pHF por cada unidad adicional de peso de la canal (variable independiente); e = error aleatorio.

Segundo modelo estadístico: Regresión cuadrática sin intercepto.

$$Y = \beta_1 X + \beta_2 X^2 + e$$

Donde: Y = es la observación de pHF (variable dependiente); $\beta_1 X$ = coeficiente de regresión para el término lineal (peso de la canal afecta al pHF de manera proporcional); $\beta_2 X^2$ = coeficiente de regresión para el término cuadrático; e = error aleatorio.

El tercer modelo evaluará la posible relación entre dos variables simultáneamente: el pHF con el peso de la canal y el pHF con el color de la carne. Para este análisis, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson, que permite medir la fuerza y la dirección de la asociación lineal entre ambas variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación de las 68 muestras 24 horas *post mortem*, se determinó un pHF con una media de 5.74, de las cuales el mayor porcentaje de pHF se encontró dentro del rango idóneo, de no presentar cortes oscuros con un 83.8% ($n=57$; $\text{pH} \leq 5.7$) y un 16.2% ($n=11$; $\text{pH} \geq 5.8$) animales de presentar cortes oscuros en relación al análisis de pHF, no obstante en la evaluación de color CIELAB 12 animales presentaron categoría cinco (5), esto se debe a que la evaluación de pHF un animal, el animal 10 de las muestras se encontró dentro del rango adecuado de pHF pero el análisis de color el umbral de L se ubicó en la categoría cinco (5) corte oscuro, este efecto se ve claramente con la edad del animal a mayor longevidad mayor cantidad de mioglobina, presentándose un resultado



un color oscuro en la carne. Un mayor aumento en la mioglobina conduce a una reducción en la luminosidad (valores L *) y un aumento en el enrojecimiento (valores a *) (Hopkins *et al.*, 2007).

De los 11 animales que presentaron $\text{pHF} \geq 5.8$, nueve (9) animales pertenecían a la finca uno, el cual sacrificaba machos y hembras, mezclar los sexos incrementa la cantidad de cortes oscuros y se ve reflejado entre productores ($P=0.001$). Esto fue demostrado por Warriss *et al.*, (1984), que menciona que los machos tienden a producir más corte oscuro si se mezclan antes del sacrificio (finca, camiones, matadero) porque participan en la lucha y la monta para restablecer la jerarquía social que, en consecuencia, agota el glucógeno muscular a través del agotamiento físico.

Cabe mencionar que las carnes DFD son dark, firm, and dry (oscura, firme y seca); este término se utiliza para describir un defecto en la carne, especialmente en carne bovina, causado por el estrés prolongado del animal antes del sacrificio y se relacionan con el agotamiento de la reserva de glucógeno en el músculo antes del faenamiento, lo cual impide una caída gradual del pH en esta etapa, obteniendo un pH *post mortem* alto (Moreno, 2003). Ante ello, Meat Standards Australia (2017), admite solo carnes hasta un pHF de 5.7 para evitar problemas de calidad.

Los resultados ostentados en la tabla 1, representan el comportamiento y la distribución del color de la canal 24 horas *post mortem*, en el cual se ubican 12 animales en la categoría cinco (5), categoría que indica el efecto de cortes oscuros, este estudio presenta una incidencia de 17.6% ($n=68$; $\text{pH} \geq 5.8$) de corte oscuro en función al color L* a*, b*, de acuerdo con Ponnampalam *et al.*, (2016), la prevalencia de cortes oscuros en los diferentes países es variado y es el resultado de sus manejos *ante mortem*, uno de los valores más elevados es España con 13.9% ($n=5494$; $\text{pH} \geq 5.8$) lo que demuestra que este estudio tiene una mayor incidencia de cortes oscuros en comparación con los demás países.

Tabla 1

Comportamiento general de color en el estudio (n=68).

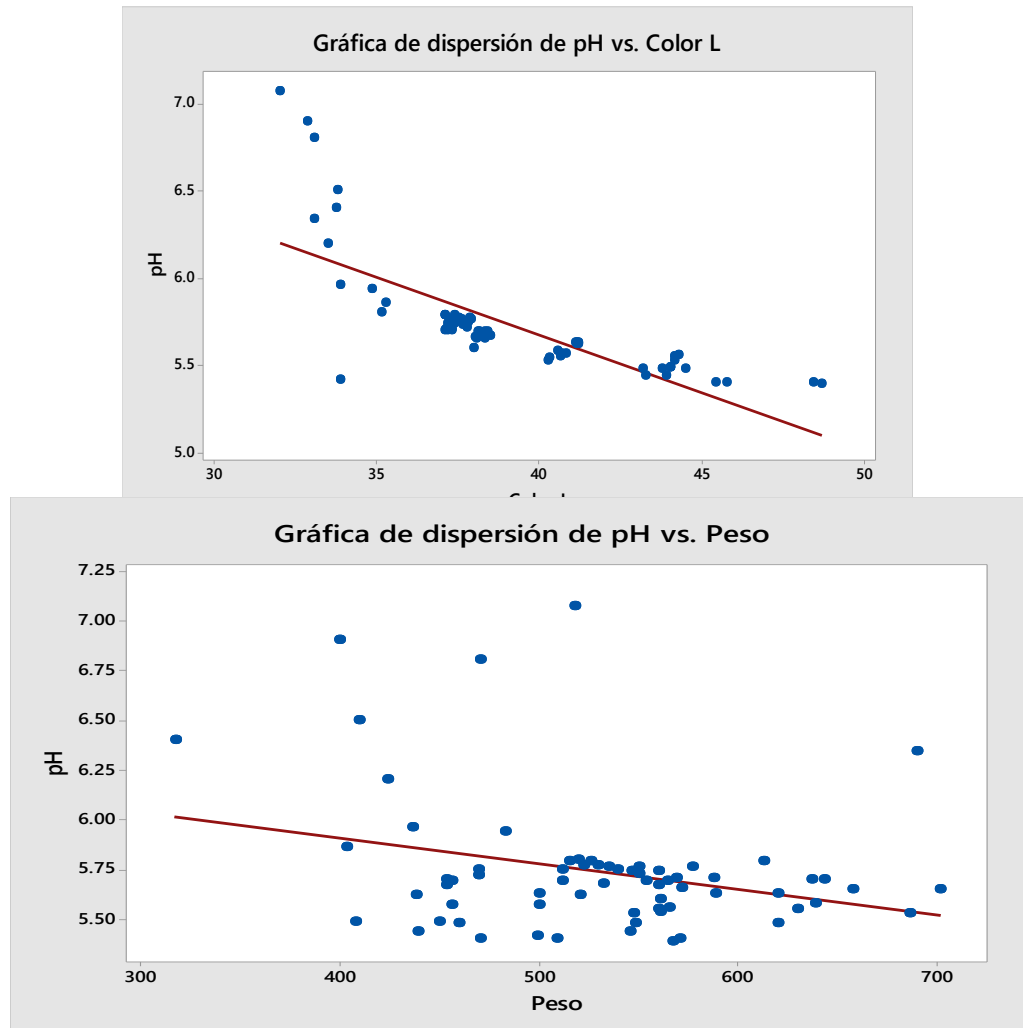
Categoría ^a	Color	N ^b	%
1a	Pálidos	2	2.9
1b	Pálidos	2	2.9
2a	Rojos cereza	10	14.7
2b	Rojos cereza	11	16.2
3	Rojo intenso	11	16.2
4	Rojo ligeramente oscuro	20	29.4
5	Cortes oscuros	12	17.6

^a Categoría; escala cromática de valores para L; N^b; cantidad de animales en cada categoría

La distribución de las categorías de color en el matadero en los días de estudio presenta una mayor tendencia a la categoría rojo oscuro (4) con 29.4%. Salinas (2014), en su estudio para desarrollar un patrón para evaluación de color en México el cual se analizaron cuatro mataderos (n=1165), su mayor distribución de frecuencias de L* dentro de cada categoría visual fue 2b tonos rojo cereza, lo que significa una diferencia en el manejo *ante mortem* de los animales.

Figura 2

Dispersión de pH y color 24 horas post mortem.

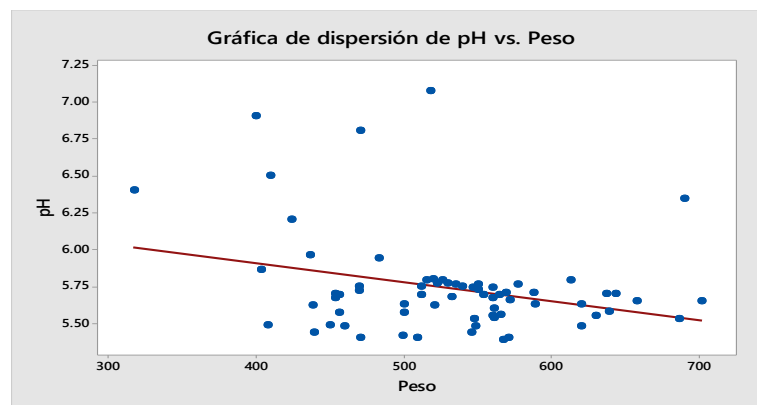


Los puntos azules representan los valores observados de pH y Color L en cada muestra individual. La línea roja corresponde a la línea de regresión lineal, que ilustra la relación negativa entre ambas variables. Esto significa que, a medida que los valores de Color L aumentan, los valores de pH tienden a disminuir. La pendiente negativa de la línea de regresión sugiere una fuerte correlación inversa entre pH y Color L, indicando que los cambios en el pH están asociados con cambios opuestos en el Color L.

La relación entre el pHF y el color se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, obteniéndose un valor de R^2 : -0.74 ($P < 0.01$), lo que indica una correlación negativa fuerte entre ambas variables. Esto significa que, a medida que el pHF aumenta, el valor del color tiende a disminuir, y viceversa, como se muestra en la figura 2. Por lo tanto, existe una relación estadísticamente significativa entre el pH y el color LAB. Sin embargo, es importante destacar que una correlación negativa no implica causalidad, lo que significa que no se puede concluir que el pH haya causado el cambio en el color, ni que el cambio en el color haya causado el cambio en el pH.

Figura 3

Dispersión de pH y peso 24 horas post mortem.



Los puntos azules representan la distribución individual de los animales, mostrando cómo varían el pHF y el peso en canal en los animales. La línea roja es la línea de regresión lineal, que describe la tendencia general de los datos. En este caso, la pendiente de la línea es negativa, lo que indica que existe una correlación negativa entre el peso y el pH *post mortem*. La dispersión de los valores entre el pHF y el peso canal indica que hay una correlación negativa débil R^2 : -0.29 ($P < 0.05$), como se observa en la figura 3. A medida que el animal tenga mayor peso al momento del sacrificio, dispondrá de más reservas de glucógeno muscular, lo cual es crucial ya que influye en la producción de ácido láctico durante la degradación del glucógeno tras la muerte del animal. Knee *et al.*, (2007) mencionan que cuanto mayor sea la cantidad de glucógeno disponible, más ácido láctico se generará, lo que provocará una disminución en el pH *post mortem*. Un pH más bajo puede mejorar la calidad de la carne, ya que mejora el color visual y optimiza su textura.

El peso de los animales es un factor presente en la incidencia de cortes oscuros ya que el mismo está relacionada con las reservas corporales. La media de peso en la canal de los 57 animales que no presentaron corte oscuro ($\text{pH} \leq 5.7$), fue de 241.7 Kg y la media de los 11 animales que presentaron corte oscuro ($\text{pH} \geq 5.8$), fue de 208.8 Kg, se demuestra que animales con bajo peso en canal tienen un efecto en las reservas corporales, afectando el proceso anaeróbico del músculo, ya que el metabolismo del glucógeno es la única fuente de energía disponible. Un estudio realizado por los investigadores de Beef CRC, McGilchrist *et al.* (2012), mencionaban que a medida que aumenta el peso de la canal y la profundidad de la grasa en las costillas se reducen las tasas de cortes oscuros. A medida que el peso de la carcasa aumentó más de 250 Kg, la proporción de



canales con pHF, continuó disminuyendo, pero a un ritmo más lento, lo que sugiere que 250 Kg puede ser un punto de referencia de peso importante en algunos sistemas.

El estudio mostró una incidencia del 16.2% de cortes oscuros en la carne bovina, con la mayoría de los animales afectados provenientes de finca uno. Los autores señalan que los animales evaluados de dos fincas, sugiere la necesidad de explorar si los manejos previos al sacrificio, como el transporte, la mezcla de sexos y el manejo en el frigorífico, influyen en la aparición de estos cortes. Factores como el embarque, el transporte y el estrés asociado en el matadero pueden contribuir a variaciones en el pHF muscular, lo que a su vez afecta la calidad de la carne.

CONCLUSIONES

- La incidencia de cortes oscuros en este estudio mostró una alta prevalencia en la carne bovina, con un 16.2%.
- Un manejo inadecuado puede provocar el agotamiento de las reservas de glucógeno muscular, lo que afecta negativamente la calidad de la carne.
- Existe una clara relación entre el pHF y el color de la carne, donde un pH más alto se asoció con tonos más oscuros.
- Animales con menor peso al sacrificio mostraron una mayor incidencia de cortes oscuros.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Matadero Coclesana De Carnes Penonomé, por facilitar los animales que permitieron la recolección de los datos para la realización de la investigación, así como por su valiosa colaboración en el desarrollo del estudio.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gallo, C. (2012). Bienestar animal y calidad de la carne en Latinoamérica. En D. Mota-Rojas, S. Huertas, & I. Guerrero-Legarreta (Eds.), *Bienestar animal* (pp. 3-11). Elsevier.
- Hernández, B., López, A. y Ríos, F. (2013). Pre-mortem handling effect on the meat quality. *Nacameh*, 7(2), 41-64.
<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2013v7n2/hernandez>
- Hopkins, D. L., Stanley, D. F., Martin, L. C., Toohey, E. S. y Gilmour, A. R. (2007). Genotype and age effects on sheep meat production. 3. Meat quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(10), 1155. <https://doi.org/10.1071/ea06299>
- Holdstock, J., Aalhus, J. L., Uttaro, B. A., López-Campos, Ó., Larsen, I. L. y Bruce, H. L. (2014). The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the longissimus thoracis within the dark cutting (Canada B4) beef carcass grade. *Meat Science*, 98(4), 842-849. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.029>
- Huff-Lonergan, E. y Lonergan, S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of *postmortem* biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194-204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>
- Hughes, J., Clarke, F., Purslow, P. y Warner, R. D. (2017). PH alto en el músculo longissimusthoracis reduce la contracción del músculo de fibra transversal y dispersión de la luz que contribuye a el color oscuro. *Food Research International*, 101, 228-238.
- Knee, B. W., Cummins, L. J., Walker, P. J., Kearney, G. A. y Warner, R. D. (2007). Reducing dark-cutting in pasture-fed beef steers by high-energy supplementation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(11), 1277. <https://doi.org/10.1071/ea05362>
- Lawrie, R. A., & Ledward, D. (2006). *Meat Science (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition)* (7.a ed.). Cornwall, England: Woodhead Publishing.
- McGilchrist, P., Alston, C. L., Gardner, G. E., Thomson, K. L. y Pethick, D. W. (2012). Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. *Meat Science*, 92(4), 474-480. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.014>
- Meat Standards Australia. (2017). Standards Manual. Section 5, Livestock Supply. https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/marketing-beef-and-lamb/documents/meat-standards-australia/msa-standards-manual-2020-section-5_livestock-supply.pdf
- Moreno, B. (2003). Higiene e inspección de carnes (II). Editorial Díaz Santos S.A., Madrid.
-



- Onopiuk, A., Półtorak, A. y Wierzbicka, A. (2016). Influence of post-mortem muscle glycogen content on the quality of beef during aging. *Journal of Veterinary Research*, 60(3), 301-307. <https://doi.org/10.1515/jvetres-2016-0046>
- Ponnampalam, E. N., Hopkins, D., Bruce, H., Yang, B., Baldi, G. y Bekhit, A. E. A. (2016). Causes and contributing factors to “Dark cutting” meat: Current trends and future directions: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 400-430. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12258>
- Renner, M. (1990). Factors involved in the discoloration of beef meat. *International Journal of Food Science & Technology*, 25(6), 613-630. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01123.x>
- Salinas, S. (2014). Desarrollo De Un Patrón Para La Evaluación Del Color De La Carne De Bovino En México. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma De México). https://repositorio.unam.mx/contenidos/desarrollo-de-un-patron-para-la-evaluacion-del-color-de-la-carne-de-bovino-en-mexico-215677?c=Ezg38M&d=false&q=*&i=6&v=1&t=search_0&as=0
- Sánchez-Escalante, A., Braña-Varela, D., Torrescano-Urrutia, G., Partida de la Peña, J., Rubio-Lozano, M., Castañeda-Serrano, M., Arenas-de-Moreno, M. y Ponce-Alquicira, E. R. (2011). *Manual de análisis de calidad en muestras de carne*. Coyoacán, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Tarrant, P. V. (1989). Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef – A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13(1), 1-21.
- Warriss, P., Kestin, S., Brown, S. y Wilkins, L. (1984). The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting beef. *Meat Science*, 10(1), 53-68. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(84\)90031-7](https://doi.org/10.1016/0309-1740(84)90031-7)
-