



Pecuarios.com
Biblioteca Digital



Avicultura.mx



Ganaderia.com



Porcicultura.com



Avicultura.mx



Ganaderia.com



Porcicultura.com

VOLUMEN 3 | NOVIEMBRE - DICIEMBRE 2025

ISSN-e: 2992-7293

COMITÉ EDITORIAL

Director:

Luis Felipe Islas Guerra

luis@pecuarios.com

Director Adjunto:

Manuel Pérez Menéndez

manuel@pecuarios.com

Editores:

Dra. María Elena Trujillo Ortega

Dr. Miguel Ángel Alonso Díaz

Dr. Juan Carlos del Río García

Publicación de la Biblioteca Digital Pecuarios.com Digital Año 3, Vol. 3, Núm 18, Noviembre - Diciembre 2025, es una publicación bimestral editada por Pecuarios.com, calle León Guzmán #305-8, Colonia Centro, Teziutlán, Puebla, C.P. 73800, Tel. (231) 312-4060, <https://www.pecuarios.com>, editorial@pecuarios.com, Editor responsable: Luis Felipe Islas Guerra, luis@pecuarios.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo, género publicaciones periódicas 04-2024-030110590400-20, ISSN-e 2992-7293, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor.

Los artículos y fotografías son responsabilidad exclusiva de los autores. Los derechos de autor están reservados conforme a la Ley y a los convenios de los países signatarios de las Convenciones Panamericana e Internacional de Derechos de Autor. La reproducción parcial o total de este número solo podrá hacerse previa autorización escrita del Editor de la publicación. Derechos Reservados © 2022-2025, Pecuarios.com Última actualización: 1 de Diciembre de 2025.

CONTENIDO:

Avicultura.mx

Efecto de agua electrolizada neutra sobre la desinfección y propiedades fisicoquímicas del huevo de gallina (*Gallus domesticus*) 06

Autores: **Jesús Sánchez Hernández** | **D. V. Melo Sabogal** | **E.N. García Sánchez**

Víctor Manuel Hernández Pimentel

Evaluación del efecto de la suplementación de glucosa oxidasa y un probiótico de bacillus aplicado directo en el alimento sobre la infección por salmonella enteritidis y la integridad intestinal en pollos de engorda 25

Autores: **Grecia Madeleine Cardoso Luna** | **Guillermo Téllez Isaías** | **Rubén Merino Guzmán**

Billy M. Hargis | **Fernanda Bravo** | **Ileana Bravo** | **Juan D. Latorre** | **Kristen Martin**

Latasha Gray | **Lauren Laverty** | **Makenly Coles** | **Raúl Macon**

Ganaderia.com

Capacidad lítica de un bacteriófago sobre escherichia coli multirresistentes aisladas de cuadros de mastitis en bovinos 39

Autores: **Yolanda Daniela Carrillo Huerta** | **A.J. Gutiérrez Chávez** | **J.J. Guzmán Rodríguez**

P.D. Loeza Lara

Diseño de partículas de pectina protegida con aditivos poliméricos: mitigación de la degradación en el rumen y disminución del color amarillo de la leche de vacas en pastoreo 50

Autores: **Francisco Javier Vera Vázquez**

Protocolo alternativo no hormonal de sincronización de estros para ganaderías bovinas evaluado por biología molecular 69

Autores: **Dariana Guadalupe Ahumada Vázquez** | **Daniel Sokani Sánchez Montes**

Miguel Ángel Lammoglia Villagómez

CONTENIDO:

Ganaderia.com

Sistematización de la gestión del sistema vaca-cría mediante una aplicación móvil: Optimización productiva en pequeños productores de Puebla **80**

Autores: **María Eugenia Carreón Romero**

Unidad pecuaria de bovinos doble propósito genotipificados **106**

Autores: **Juan Prisciliano Zárate Martínez** | **David Urbán Duarte** | **Eliab Estrada Cortés**

Horacio Álvarez Gallardo | **Rubén Santos Echeverría** | **Vicente E. Vega Murillo**

Porcicultura.com

Construcción de un sistema de expresión de la proteína P30 y P72 del virus de la Peste Porcina Africana (VPPA) **120**

Autores: **Perla Lucero Zavala Ocampo** | **José Luis Cerriteño Sánchez** | **Julieta Sandra Cuevas Romero**

Días no productivos y su efecto en la productividad en una granja porcina de 3,000 cerdas en el centro del país **139**

Autores: **Óscar Fernando Huerta Alva**

Evaluación del bienestar animal en cerdos criados en sistemas de traspatio en Ahuacatlán, Puebla **150**

Autores: **Mauro Sanvicente López** | **Isis Velázquez de la Cruz** | **Janet Ixchel Pineda Vargas**

José Pablo Mora Ibarra | **Mario Loya Bautista** | **Regina Luna Cázares**

Prevalencia de agentes etiológicos con riesgo de transmisión zoonótica en cerdos de traspatio y de rancho tecnificado en distintas localidades de México **167**

Autores: **Luis Daniel Valencia Saavedra** | **Antonio Meza Lucas** | **Jorge Luis de la Rosa Arana**

Luis Antonio Gómez Mendieta | **Marco Antonio Muñoz Guzmán** | **Víctor Hugo del Río Araiza**



CONTENIDO:

Porcicultura.com _____

Tendencias y realidades de los parámetros productivos en cerdos entre 22 y 140 kilos. Etapa de levante y engorde **186**

Autores: Diego Ernesto Jaramillo Marin

Efecto de agua electrolizada neutra sobre la desinfección y propiedades físicoquímicas del huevo de gallina (*Gallus domesticus*)

RESUMEN

El huevo de gallina es un alimento de alto valor proteico en la alimentación de los humanos. México ocupa el primer puesto como consumidor de huevo y el quinto lugar como productor con 3 millones 26 mil toneladas. En nuestro país, no está permitido el lavado de huevo para su comercialización mientras que, en otros países como Estados Unidos, se emplea el lavado de huevo con agua y algunos agentes químicos. El agua electrolizada neutra (AEN) es un agente antimicrobiano de amplio espectro, que se ha venido utilizando en los últimos años en la industria alimentaria, debido a ciertas ventajas que presenta sobre otros agentes como bajo costo de producción, baja o nula toxicidad, producción *in situ*, y no genera residuos tóxicos. El objetivo de este proyecto es determinar el efecto del AEN sobre la desinfección y propiedades físicoquímicas del huevo de gallina (*Gallus domesticus*). Se realizó un reto microbiano contra *S. Typhimurium* inoculada en la superficie de huevo y se evaluó su efecto sobre las propiedades físicoquímicas del cascarón como el color (Cielab), grosor (m) y superficie mediante SEM. El AEN a 50 ppm presenta una reducción

antimicrobiana de (2.3 log UFC/mL) similar al NaClO (50 ppm) y al ácido peracético (150 ppm) sobre *Salmonella Typhimurium*. El AEN no presenta cambios significativos en el cambio de color (E) con respecto a los demás tratamientos, mientras que el AEN fue quien menos redujo el grosor del cascarón del huevo de gallina. El tratamiento con AEN presenta grietas de menor tamaño en comparación con el tratamiento de NaClO y no presenta poros, lo que indica que tiene un menor efecto sobre la superficie del cascarón de huevo con una superficie más parecida al grupo control con agua.

Palabras clave: huevo, desinfección, agua electrolizada neutra, salmonella, propiedades fisicoquímicas

INTRODUCCIÓN

La producción de huevo de gallina ha sido constantemente intervenida por el humano para aumentar la cantidad y la calidad del producto. En la industria avícola, existen diversas razas de aves que son utilizadas para producción de huevo como Leghorn, Lohmann, Hy line, de Kalb, Shaver, entre otras. Una gallina criolla puede poner en promedio de 125 huevos por año, mientras que una gallina de postura puede llegar a poner 300 huevos al año (Molnár et al., 2017). La Unión Nacional de Avicultores (UNA, 2020) informó que, México ocupa el 5° lugar de producción de huevo a nivel mundial detrás de China, India, Estados Unidos y Brasil mientras que, como consumidor ocupa el 1^{er} lugar 24.21 kg (*per capita* anual). Los principales estados productores en México son Jalisco (53.9%), Puebla (15.9 %), Sonora (5.1 %) y Nuevo León (2.9 %).

El huevo está conformado por tres principales partes: la yema (27 -

32%), la clara o albúmina (56 - 61%) y cascarón (8 - 11%). El cascarón está conformado por la cutícula, el empalizado, el mamilar y las membranas. La cutícula es la capa más externa del huevo, brinda protección contra microorganismos además previene la pérdida excesiva de agua a través de los poros y está compuesta por 87% de proteínas, 4.4% carbohidratos y 3.5% de lípidos. El empalizado es una capa pegada a la cutícula en la parte interna, está compuesta principalmente por CaCO_3 . La capa mamilar, donde comienza la mineralización, se integra por pequeñas masas de material orgánico formadas por un complejo de proteínas-mucopolisacáridos que se unen a la superficie externa de la membrana y es donde se depositan los cristales de calcita formando conos (García, 2015). Finalmente, la capa de membranas que está compuesta por fibras proteicas rodeadas por mucopolisacáridos y es la capa más interna del cascarón haciendo la frontera entre el contenido líquido, aunque se permite el intercambio gaseoso (Cascarín, et al., 2023).

Los principales factores que determinan la calidad del cascarón son el grosor y la resistencia al quiebre, factores que derivan en una gran pérdida económica para la industria avícola en caso de una mala calidad (Cascarín, et al., 2023). La calidad del huevo también está relacionada con su carga microbiana, así como por otras propiedades físicas del cascarón como la textura y color. Durante un almacenamiento prolongado se degrada el albumen y se modifica la interacción entre ovomucina y lisozima, lo que aumenta el intercambio gaseoso entre el interior del huevo y el medio ambiente. La temperatura de conservación del huevo debe estar entre 18 y 22°C, ya que una temperatura mayor conlleva a una pérdida de CO_2 , lo que genera un aumento de pH en la clara y con ello pérdidas ya que, se favorece la contaminación interna del huevo. Una humedad relativa baja acelera la pérdida de agua del

huevo mientras que una humedad relativa elevada) favorece el desarrollo de hongos y bacterias en la superficie (Bedoya, 2020).

Muchos alimentos, en específico los de origen animal, han sido identificados como vehículos de transmisión de ciertos microorganismos patógenos, puntualmente se reconoce a las aves de corral son un reservorio de la bacteria *Salmonella*. Éste patógeno reside naturalmente en el tracto intestinal y también se expulsa en las heces de animales y humanos infectados. El contenido del huevo puede contaminarse por 2 vías: transovárica (transmisión vertical) donde el patógeno se introduce desde los tejidos reproductivos infectados antes de la formación de la cáscara y los serotipos asociados con esta vía de contaminación son *S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* y *S. Heidelberg*. La transmisión transcáscara u horizontal, suele asociarse con la contaminación fecal de la cáscara del huevo por el animal que lo expulsa o por otros vectores ambientales, como agricultores, mascotas y roedores. Por otro lado, es posible que el contenido del huevo se contamine por una migración a través de la cáscara y las membranas del huevo si las cáscaras de huevo están húmedas, así como por el almacenamiento a temperatura ambiente y el daño en estructura de la cáscara (Kirunda & McKee, 2000).

Los desinfectantes son sustancias que destruyen microorganismos y son aplicados en superficies inertes (principalmente en industria alimentaria) ya que se utilizan concentraciones que pueden intoxicar o ser irritantes de ser aplicadas en organismos vivos o alimentos (Gonzales, 2003). En México, la legislación no permite el lavado de huevo con desinfectantes durante su procesamiento para ser comercializado únicamente se permite el lavado de la canal con agua fría (NOM-159-SSA1-2016). Diversos agentes son empleados de manera común en la industria alimentaria y que están permitidos

en el sector avícola en otros países como Estados Unidos. El hipoclorito de sodio (NaClO) es un desinfectante comercial eficiente de un amplio espectro bactericida y bajo costo, sin embargo, si es utilizado en concentraciones mayores a 100 ppm resulta ser tóxico ya que forma compuestos los trihalometanos (THM) con potencial carcinogénico por la oxidación de materia orgánica (EPA, 1999). El ácido peracético (AP) es también ampliamente utilizado por su gran poder desinfectante y no presentan efectos carcinogénicos ni mutagénicos ni genera residuos tóxicos (Aguayo et al., 2017). La norma española EN-13697 permite utilizar el ácido peracético en concentraciones inferiores a 150 ppm y su aplicación puede ser mediante aspersion o inmersión. Sin embargo, el AP es una sustancia química sumamente corrosiva y una inapropiada manipulación puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y ojos por lo que se requiere utilizar equipo de protección y destreza del personal durante su manipulación (Moreno, 2014). El agua electrolizada neutra (AEN) se produce mediante electrólisis con solución salina de NaCl 1 a 3% sometida a una corriente eléctrica (9 - 120 V y 0.7 - 20 A). Durante el proceso electrolítico se forman iones de carga negativa que migran al ánodo donde pierden electrones y se forma el ácido hipocloroso (HOCl), ion hipoclorito ($-\text{OCl}$), ácido clorhídrico (HCl), oxígeno (O_2) y cloro gaseoso (Cl_2), mientras que, los iones de carga negativa migran al cátodo donde se ganan electrones y se forma hidróxido de sodio (NaOH) e hidrógeno (H_2)_g. Al no emplear una membrana diafragmática que separe los iones formados, se obtiene AEN con un pH de 7 a 8 con ORP cercano a 990 mV lo que le atribuye un amplio espectro y alto poder oxidante (Tabernero de Paz et al., 2013; Rahman et al., 2016). El AEN es permitida en la industria avícola en Estados Unidos, si no excede la concentración máxima que es de 50 ppm en un proceso de inmersión (FSIS, 2012).

METODOLOGÍA – MATERIALES Y MÉTODO

Material biológico

La cepa utilizada en esta investigación fue *S. Typhimurium* ATCC 14028 conservada en ultracongelación a -52°C . Las muestras de huevo empleadas para el análisis microbiológico fueron obtenidas en un supermercado local, mientras que las muestras de huevo empleadas para los análisis fisicoquímicos se obtuvieron con un pequeño productor, con el fin de garantizar que no hubieran tenido tratamiento alguno previo.

Determinación de la actividad antimicrobiana de AEN sobre *S. Typhimurium*

Se procedió según lo reportado por Hernández-Pimentel et al, (2020). Preparación del inóculo: La cepa se descongeló y realizó una primera activación donde se colocó una chaquiras de vidrio con el microorganismo un matraz con 50 mL con medio de caldo Soya Trypticaseína (CST) se incubó durante 24 h a 37°C . Se realizó una segunda activación con 0.1 mL del primer matraz y se inoculó un segundo matraz y se incubó a las mismas condiciones. Se colocaron 50 mL de la segunda activación y se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 min. Se retiró el sobrenadante y se agregaron 10 mL de solución salina estéril (SS) a 0.9 % (p/v) y se resuspendió la pastilla. Se repitió el lavado dos veces a las mismas condiciones para obtener la una solución stock del inóculo. Se ajustó la población del microorganismo a una población de 6 log UFC/mL.

Se emplearon 45 huevos para este experimento con una unidad experimental de un huevo por cada tratamiento. Se empleó un tratamiento de AEN a 50 ppm, dos controles positivos de

hipoclorito de sodio (NaClO) a 50 ppm, y ácido peracético (AP) a 150 ppm y un control negativo con agua para ver el efecto de arrastre. Se desinfectó con etanol al 70% /v/v) y se inoculó la superficie del cascarón de cada huevo con 1 mL del inóculo y se dejó un tiempo de adhesión de 10 min en campana de flujo laminar. Cada huevo inoculado, se sumergió en 90 mL de cada tratamiento durante 10 min y posteriormente, se sumergió y frotó durante 2 min en 90 mL de agua peptonada estéril para la recuperar las bacterias tratadas sobrevivientes. Se realizaron diluciones decimales seriadas e inocularon cajas Petri con agar soya tripticaseína (AST) mediante el método Miles-Misra y se incubaron a 37 °C durante 24 h. Se realizaron tres réplicas experimentales.

Determinación del efecto de AEN en las propiedades físicas

Se emplearon un total de 36 piezas tanto para la determinación de color como para la determinación de grosor. Se empleó un tratamiento de AEN a 50 ppm, dos controles positivos con NaClO (50 ppm), y AP (150 ppm) y un control negativo con agua. Cada huevo, como unidad experimental, se sumergió en 100 mL de cada tratamiento durante 10 min y se dejaron secar.

Determinación de color: se procedió según lo reportado por (Li, et al., 2020) con un colorímetro portátil modelo CS-10 (CHN Spec, Cantón, China.) mediante sistema de coordenadas CIELab*. Se tomaron 3 repeticiones de lecturas de color en tres diferentes zonas (superior, ecuatorial e inferior). Se realizaron tres réplicas experimentales.

Determinación de grosor: se procedió según lo reportado por (Guzmán-Guzmán et al., 2018). El grosor del cascarón de huevo fue medido mediante un micrómetro digital modelo FTVOGUE (marca Astyer-X, Zhejiang, China). Posterior a los tratamientos, se realizó

un orificio de 1 cm de diámetro en el cascarón para vaciar su contenido y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 h. Las lecturas fueron tomadas en las mismas zonas donde se midió el color.

Visualización de la superficie del cascarón mediante SEM: Se cortó una muestra de 1 cm² y se observó al microscopio (Carl Zeiss, EVO 50, Alemania). Las condiciones para la microscopia electrónica de barrido fueron: rango de aumento 150x, 100x y 2500x, voltaje de aceleración 10kV, alto vacío 4×10^{-4} mBa y previo recubrimiento por ionización catódica (Denton Vacuum, Desk II, NJ, EUA) con oro a cada muestra (Medina-Gudiño, et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el reto microbiano, el grupo control con agua, permitió visualizar el efecto de arrastre por el lavado de huevo en el que se recuperó una población de 4.1 log UFC/mL. El tratamiento con AEN (50 ppm) no tuvo diferencia significativa con los controles positivos (NaClO 50 ppm ni AP 150 ppm) con una reducción total del inóculo poco mayor a 2 log UFC/mL (**Tabla 1**). El AEN actividad antimicrobiana similar al AP con una concentración tres veces inferior lo que pudiera implicar una ventaja en gasto, además de que no resulta tan tóxico e irritante como el AP en su manipulación. Por otro lado, el AEN tuvo mismo efecto antimicrobiano que el NaClO, lo cual indica que pudiera representar una alternativa en la industria avícola ya que el NaClO está prohibido su uso en muchos países en contacto directo con alimentos por la generación de residuos tóxicos (Hernández-Pimentel, et al., 2020).

TABLA 1

Población sobreviviente de *S. Typhimurium* en cascarón de huevo.

Tratamiento	Población (log UFC/mL)
Control (H ₂ O)	4.1±0.2 ^A
NaClO (50 ppm)	< 1.7 ^{*B}
AEN (50 ppm)	< 1.7 ^{*B}
AP (150 ppm)	< 1.7 ^{*B}

*Límite de detección del método empleado.

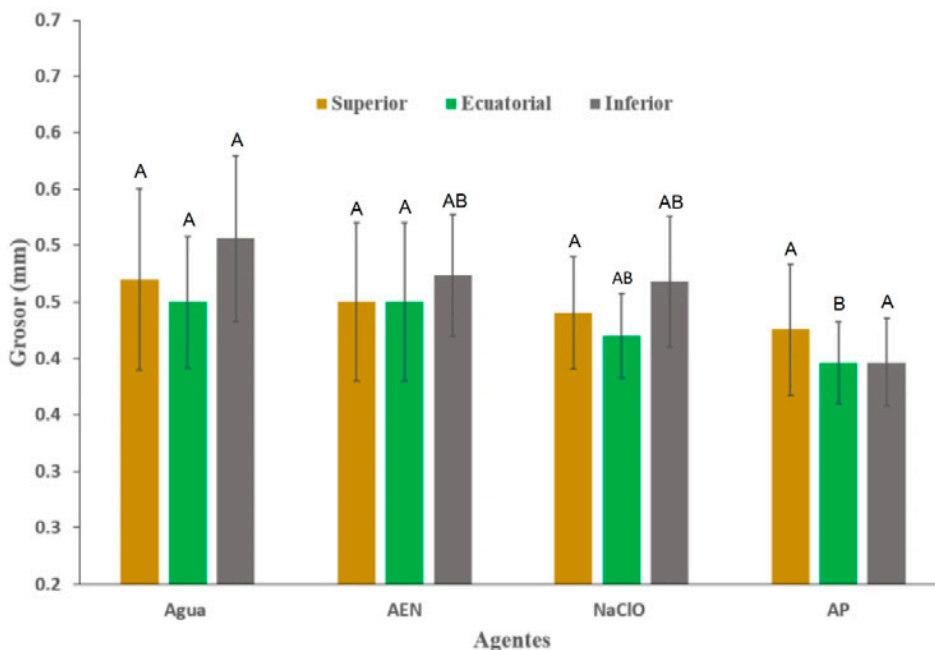
Medina-Gudiño et al., (2020) observaron una reducción de *S. entérica* de 1.45 log UFC/pieza al emplear 60 ppm de AEN. De manera similar, Rivera et al., (2019) observaron una reducción de *L. monocytogenes* de 2.18 log UFC/pieza. Otros autores han demostrado el efecto bactericida de AEN 50 ppm sobre *Salmonella* en diversos alimentos como lechuga, zanahoria, escarola, jícama, tomate, aguacate y queso Oaxaca, obteniendo como resultado la reducción de la población de hasta 3 log UFC/mL (Abadias et al., 2008; Cadena, 2014).

Determinación del efecto del AEN en el grosor del cascarón de huevo

Al analizar el grosor del cascarón se observó diferencia significativa entre los tratamientos de AP con a AEN y control con agua teniendo el AP los valores más bajos en grosor del cascarón. Los tratamientos con AEN y agua no presentan una diferencia estadísticamente significativa. Se observó que el cascarón no presenta uniformidad en su grosor ya que en la zona ecuatorial es más delgado y en el inferior es más grueso.

FIGURA 1

Determinación del grosor del cascarón de huevo dividido en zonas (superior, ecuatorial e inferior) con tratamientos de 10 min por inmersión. Los tratamientos fueron: NaClO (50ppm), AP (150ppm), AEN (50ppm), y Agua. Letras diferentes expresan diferencia estadística significativa ($\alpha=0.05$).

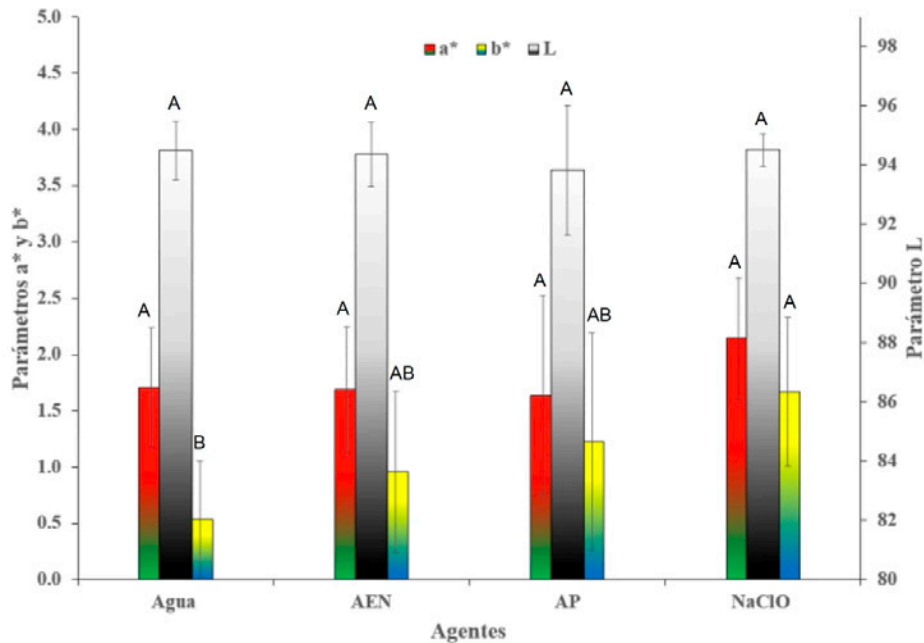


Determinación del cambio de color del cascarón de huevo de gallina después del tratamiento de desinfección.

En cuanto a las mediciones de color en zona superior, y para los parámetros de color L* (luminosidad) y a* (tonalidad roja) no se aprecia diferencia estadísticamente significativa. El AEN a 50 ppm no presenta diferencia significativa con ninguno de los tratamientos en el cambio de coloración (E). El NaClO (50ppm) presenta diferencia significativa con relación al control con agua en el parámetro b* que está relacionado con la escala en coloración amarilla, lo que implica que los huevos tratados con este agente presentan una coloración ligeramente más amarillenta.

FIGURA 2

Determinación del cambio de color en la zona superior del cascarón, después de tratamientos de 10 min con agua, AEN (50ppm), NaClO (50ppm), AP (150ppm). Letras diferentes representan diferencia significativa ($\alpha=0.05$).



En cuanto a las mediciones de color en zona ecuatorial, y para los parámetros de color L* (luminosidad) y a* (tonalidad roja) no se aprecia diferencia estadísticamente significativa. El AP presenta diferencia significativa estadística con respecto a NaClO. Es interesante que, el AEN a 50 ppm no presenta diferencia significativa estadística con los demás controles, lo que significa que el AEN no produjo un cambio de color que sea significativo. El NaClO fue el agente que obtuvo cambios orientados a valores más positivos según el sistema de coordenadas CIEL*a*b*, implicando una mayor coloración.

FIGURA 3

Determinación del cambio de color en la zona ecuatorial del cascarón, después de tratamientos de 10 min con agua, AEN (50ppm), NaClO (50ppm), AP (150ppm). Letras diferentes representan diferencia significativa ($\alpha=0.05$).

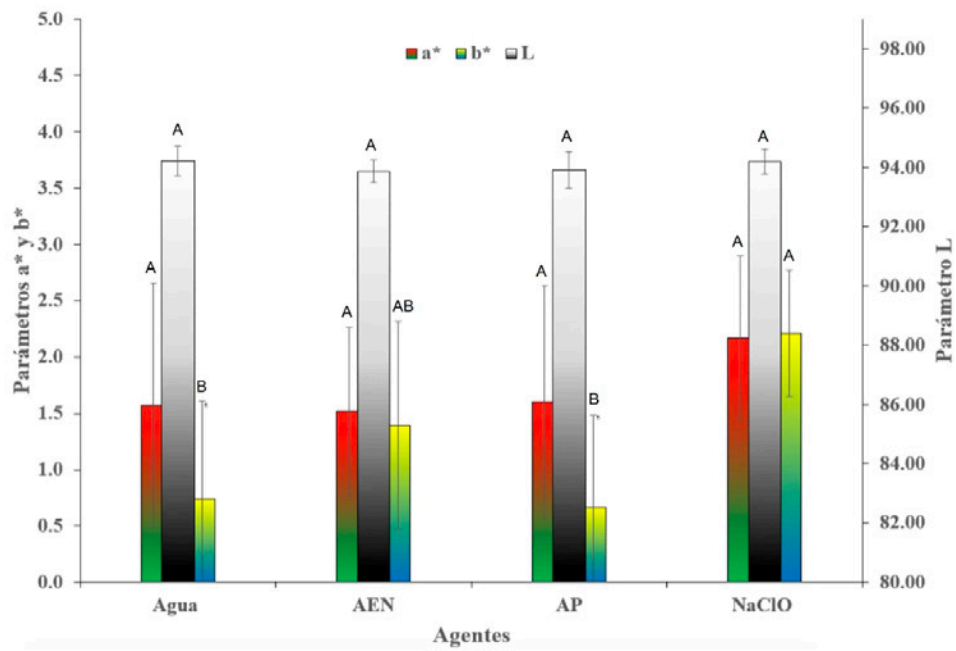
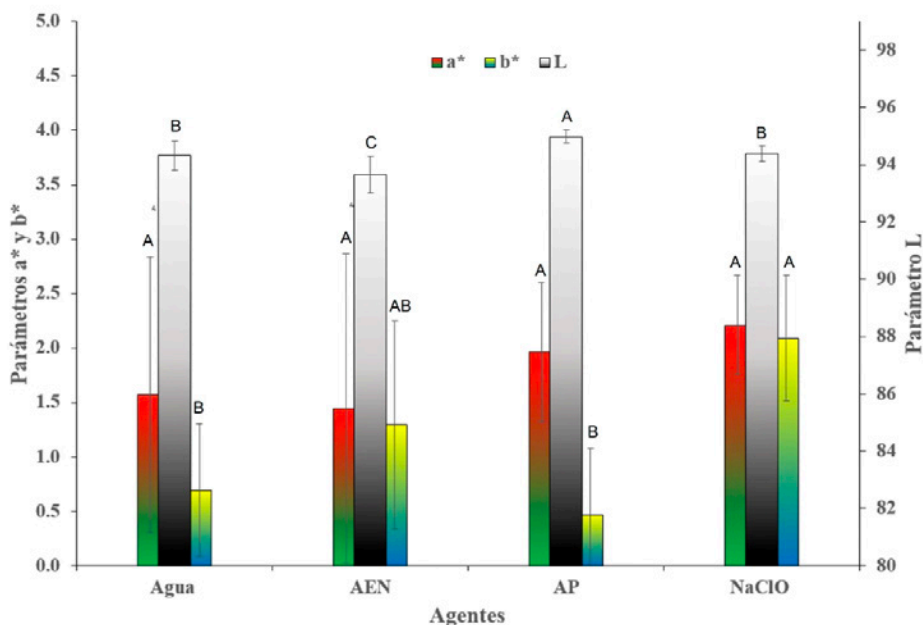


FIGURA 4

Determinación del cambio de color en la zona inferior del cascarón, después de tratamientos de 10 min con agua, AEN (50ppm), NaClO (50ppm), AP (150ppm). Letras diferentes representan diferencia significativa ($\alpha=0.05$).



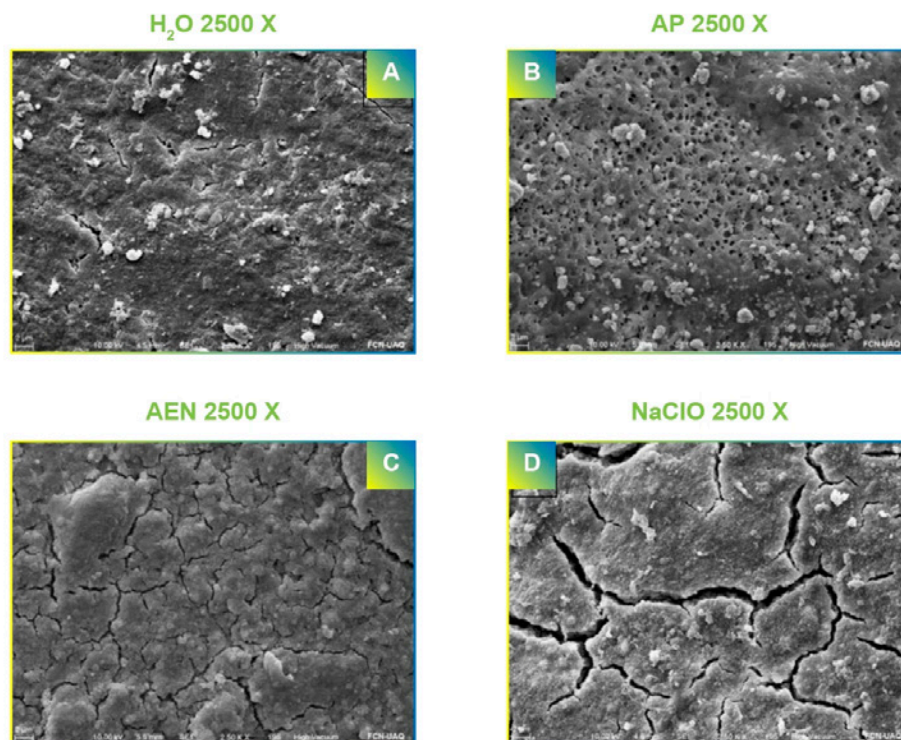
Para la zona inferior, no se observó diferencia significativa en el parámetro a^* , sin embargo, para el parámetro L^* solamente los tratamientos NaClO y control de agua no mostraron diferencia significativa. Hernández-Pimentel et al. (2020), observó que la carne de pollo presentó un efecto al ser tratada con NaClO así como con AP (principalmente donde había golpes en las canales) mientras que, con AEN observó que el cambio de color fue similar al grupo control con agua. Los autores analizan que dicho efecto es posible que sea debido a que el AEN está reportado que sufre una inactivación muy rápida en presencia de materia orgánica, lo que limita su efecto continuo a diferencia de otros agentes que se inactivan de un modo más lento y su efecto es mayor.

Microscopía de barrido en cascarón de huevo de gallina.

En la **Figura (5)** se puede observar que con AP hay una abundante cantidad de poros, lo que puede indicar que la capa de la cutícula conformada por proteínas, carbohidratos y lípidos este viéndose afectada en concordancia con Wellman, et al. (2014). Del mismo modo, con agua, AEN y NaClO se pueden observar una mayor concentración de formaciones vesiculares, así como la presencia de grietas expuestas, sin embargo, es importante mencionar que con NaClO las grietas eran más abundantes y de mayor tamaño y profundidad.

FIGURA 3

Micrografías de la superficie de cascarón tratado por inmersión 10 min. A) control con agua, B) AP(150ppm), C) AEN(50ppm) y D) NaClO(50ppm) con aumento 2500x.



En este sentido, el uso de AEN podría implicar una ventaja ya que por un lado, tiene poder desinfectante similar al AP y al NaClO, pero estos dos agentes podrían facilitar el ingreso de agentes o sustancias contaminantes al interior del huevo y permitir asimismo un aumento en la transferencia de oxígeno e incluso la pérdida excesiva de agua (Bedoya, 2020). Medina-Gudiño et al. (2020) observaron que la cutícula del huevo de gallina muestra fisuras que relaciona con el aspecto del barro seco producido por la deshidratación de los grupos sulfhidrilo (SH) de las proteínas siendo una barrera muy importante para la calidad del huevo.

De manera general, el ácido peracético es considerado un ácido fuerte y por lo tanto es corrosivo y puede irritar piel, mucosas, ojos y tracto respiratorio. El AEN es una sustancia que se considera segura a pesar de tener mayoritariamente un ácido en su composición, no es corrosivo, tampoco tóxico y al entrar en contacto con materia orgánica se inactiva fácilmente.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La capacidad desinfectante del AEN a 50 ppm presenta una reducción de la población de *Salmonella*, similar a la de NaClO (50 ppm) y al AP (150 ppm) resaltando que este último fue utilizado en una concentración 3 veces mayor. En cuanto al grosor del cascarón, el AEN no presenta diferencia significativa entre el control (agua) y el NaClO (50 ppm), a diferencia del AP (150ppm) el cual redujo significativamente el grosor del cascarón. El AEN no presenta cambios significativos en el cambio de color (E) con respecto a los demás tratamientos, además de ser quien presenta ser el agente de menor actividad corrosiva sobre la estructura superficial del cascarón de gallina.

REFERENCIAS

Abadias, M., Usall, J., Oliveira, M., Alegre, I., & Viñas, I. (2008). Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 123(1-2), 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008>.

Aguayo, E., Gómez, P., Artés-Hernández, F., & Artés, F. (2017). Tratamientos químicos desinfectantes de hortalizas de IV gama: Ozono, agua electrolizada y ácido peracético. *Agrociencia*, 21(1), 7-14. <https://doi.org/10.31285/agro.21.1.2>.

Bedoya, S. (2020). Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): Una revisión sistemática. <https://doi.org/10.24188/recia.v12.n2.2020.776>.

Bustamante, M. (2014). Avances en los sistemas de limpieza y desinfección aplicados en la industria alimentaria. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 66.

Cadena, Mo., E. E. (2014). Estudio de la aplicación de agua electrolizada neutra en la desinfección de frutas y hortalizas frescas. Tesis de Maestría en Ciencias de los Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro.

Casarín A., Villar G. & Olvera-García M. (2023). Factores que afectan la calidad de la cáscara del huevo para consumo humano. Obtenido de [www. https://www.avicultura.mx/destacado/factores-que-afectan-la-calidad-de-la-cascara-del-huevo-para-consumo-humano](https://www.avicultura.mx/destacado/factores-que-afectan-la-calidad-de-la-cascara-del-huevo-para-consumo-humano).

Environmental Protection Agency (EPA). (1999). Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. Extraído de <https://eec.ky.gov/Environmental-Protection/Water/Drinking/DWProfessionals/ComplianceDocuments/Alternative%20Disinfection%20and%20Oxidants%20Guidance%20Manual.pdf>.

Food Safety and Inspection Service (FSIS). (2012). Directive USDA/FSIS, Washington, DC: Last review December 21th 2012. Safe and suitable ingredients used in the production of meat, poultry and egg products.

García, Campos, T. (2015). Extracción y aplicaciones alimentarias de membranas de cáscara de huevo. Tesis de Maestría en Biotecnología Alimentaria en la Universidad de Oviedo.

González, L. (2003). Antisépticos y desinfectantes. Educación Sanitaria, 22, 64-70.

Guzmán-Guzmán, M., Zuñiga, H., Moreno S, J. A., & GRANADOS M, J. E. (2018). Estudio físico-químicos de los huevos de Iguana iguana Linnaeus, 1758. Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 10(2), 124-130. <https://doi.org/10.24188/recia.v10.n2.2018.648>

Hernández-Pimentel, V. M., Regalado-González, C., Nava-Morales, G. M., Meas-Vong, Y., Castañeda-Serrano, M. P., and García-Almendárez, B. E. (2020). Effect of neutral electrolyzed water as antimicrobial intervention treatment of chicken meat and on trihalomethanes formation. J. Appl. Poult. Res. 29, 622–635. doi: 10.1016/j.japr.2020.04.001

Kirunda, D. F. K., & McKee, S. R. (2000). Relating Quality Characteristics of Aged Eggs and Fresh Eggs to Vitelline Membrane Strength as Determined by a Texture Analyzer. Poultry Science, 79(8), 1189–1193. doi:10.1093/ps/79.8.1189.

Landa-Solis, C., González-Espinosa, D., Guzmán-Soriano, B., Snyder, M., Reyes-Terán, G., Torres, K., & Gutierrez, A. A. (2005). Microcyn™: A novel super-oxidized water with neutral pH and disinfectant activity. *Journal of Hospital Infection*, 61(4), 291-299. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2005.04.021>

Li, Q., Ren, J., Wang, K., Zheng, J., Xu, G., Ge, C., ... Sun, C. (2020). The effect of breed and age on the gloss of chicken eggshells. *Poultry Science*, 99(5), 2494–2499. doi:10.1016/j.psj.2020.01.010.

Medina-Gudiño, J., Rivera-García, A., Santos-Ferro, L., Ramírez-Orejuel, J. C., Agredano-Moreno, L. T., Jiménez-García, L. F., ... Cano-Buendía, J. A. (2020). Analysis of Neutral Electrolyzed Water antibacterial activity on contaminated eggshells with *Salmonella enterica* or *Escherichia coli*. *International Journal of Food Microbiology*, 320, 108538. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2020.10853.

Molnár, A., Zoons, J., Buyse, J. & Delezie, E. (2017). Extender el ciclo de puesta de las gallinas ponedoras: ¿se puede mantener la calidad del huevo? Presentado en el 17º simposio europeo sobre la calidad de huevos y productos de huevo (p. 30).

Moreno, B. C. (2014). Riesgos a la salud humana derivados de la exposición por manejo y almacenamiento de sustancias químicas en los establecimientos comerciales e industriales de Bogotá durante el 2013. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/13347>.

Norma Oficial Mexicana NOM-159-SSA1-2016, Productos y servicios. Huevo y sus productos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

Rahman, S., Khan, I., & Oh, D. H. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food*

Safety, 15(3), 471-490. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12200>.

Tabernero de Paz, M. J., Bodas, R., Bartolomé, D., Posado, R., García, J. J., & Olmedo, S. (2013). Agua electrolizada como higienizante en producción animal: Efectos en sanidad y productividad. Archivos de Zootecnia, 62, 13–23. <https://doi.org/10.21071/az.v62irev.1954>.

Unión Nacional de Avicultores (UNA). (2020). Indicadores económicos. Revisado de <https://una.org.mx/indicadores-economicos/> Accesado el 23 de enero de 2020.

Wellman-Labadie O., Picman J. & M. Hincke. (2014). Actividad antimicrobiana de extractos proteicos de cutícula y cáscara externa de tres especies de aves doméstica. <https://doi.org/10.1080/00071660802001722>.

Evaluación del efecto de la suplementación de glucosa oxidasa y un probiótico de *bacillus* aplicado directo en el alimento sobre la infección por *salmonella* enteritidis y la integridad intestinal en pollos de engorda

Por parte de la Universidad de Arkansas, quiero reconocer a los Dres. Billy M. Hargis, Guillermo Téllez Isaias, Raúl Macon, Juan D. Latorre, Makenly Coles, Latasha Gray, Lauren Laverty, Kristen Martin, Fernanda Bravo e Ileana Bravo. Y por parte de la Universidad Nacional Autónoma de México, al Dr. Rubén Merino.

INTRODUCCIÓN

Los antibióticos se han utilizado ampliamente en la producción animal, tanto con fines terapéuticos como en forma de antibióticos promotores de crecimiento (APC). Aunque existe una creciente preocupación por la aparición de resistencia a los antimicrobianos (AMR) en las poblaciones bacterianas. La producción de pollos suele ser difícil con la prohibición o las restricciones de los APC, ya

que tiene cada vez más dificultades para hacer frente a patógenos entéricos como *Salmonella*. El uso de aditivos como las enzimas ha atraído recientemente la atención en el sector avícola, como es el caso de la glucosa oxidasa.

La glucosa oxidasa (GOx) es una enzima que cataliza la oxidación de la D-glucosa a ácido D-glucónico y peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Este proceso se lleva a cabo en dos pasos:

- Oxidación de la glucosa: La GOx se une a la D-glucosa y la oxida utilizando oxígeno molecular (O_2) como cofactor. El oxígeno molecular se reduce a peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual es un oxidante fuerte que puede matar a las bacterias al dañar su membrana celular y por su capacidad para oxidar componentes esenciales de las bacterias, como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos.
- Hidrólisis de la gluconolactona: La gluconolactona se hidroliza espontáneamente a ácido glucónico, el cual reduce el pH del entorno, lo que también puede ser perjudicial para las bacterias.

Esta enzima procede naturalmente de ciertas cepas de hongos de *Aspergillus* y *Penicillium*, especialmente *A. niger* y *P. amagasakiense*. En la producción avícola, la GOx ha mostrado beneficios como la inhibición del crecimiento de bacterias nocivas como *Clostridium perfringens*, *Salmonella* y *Escherichia coli*, debido al peróxido de hidrógeno, el cual actúa como un potente agente antimicrobiano y antioxidante que ayuda a reducir la carga de estrés oxidativo dentro del cuerpo del pollo mediante la neutralización de los radicales libres dañinos y, a su vez, contribuye

a una mejor función inmune, resistencia a las enfermedades y un mejor rendimiento general.

Por otro lado, uno de los probióticos de mayor interés en la industria avícola es el *Bacillus*, el cual ha demostrado ser eficaz en la promoción del equilibrio microbiano intestinal y en la mejora del rendimiento productivo de las aves. Un producto comercial que contiene tres especies de *Bacillus*: *subtilis*, *amyloliquefaciens* y *licheniformis*, los cuales se han seleccionado por sus propiedades probióticas y su capacidad para beneficiar la salud intestinal, fortalecer el sistema inmunitario y promover el rendimiento de las aves, se ha utilizado como una alternativa a los antibióticos tradicionales, especialmente en la mitigación de *Salmonella* Enteritidis. Los *Bacillus*, como bacterias probióticas, pueden competir con las bacterias patógenas como *Salmonella* por recursos y espacio en el intestino, reduciendo así su capacidad para colonizar y causar infecciones. Además, algunos *Bacillus* tienen la capacidad de producir compuestos antimicrobianos y modular la respuesta inmune para inhibir el crecimiento de *Salmonella* y otras bacterias patógenas. Estudios in vitro e in vivo han demostrado el potencial de *Bacillus* como probiótico.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se dividió en dos experimentos independientes:

- Experimento 1. Efecto de la glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre la infección con *S. Enteritidis*.
- Experimento 2. Efecto de la glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre parámetros productivos de los pollos de engorda.

Se utilizaron pollitos de engorda machos Cobb 500 (n= 620) de un día de edad procedentes de una incubadora comercial. A diez pollitos se les aplicó eutanasia mediante CO² para descartar la presencia de *Salmonella* a su llegada, a fin de llevar a cabo el proceso de manera que no interfiriera con evaluaciones posteriores. Se recolectaron muestras de tonsilas cecales, hígado y bazo para la recuperación de *Salmonella* como se describe a continuación: los órganos se cultivaron asépticamente en caldo de enriquecimiento con tetracionato. Posteriormente las muestras enriquecidas se confirmaron negativas para *Salmonella* mediante la siembra de las muestras en placas de medio selectivo Xilosa Lisina Tergitol-4.

La enzima utilizada en el estudio fue glucosa oxidasa de *Aspergillus niger*, grado alimentario, con una actividad de 10,320 unidades por gramo sólido. La enzima se añadió al alimento para crear la dieta experimental con una concentración final de 100 U/Kg de alimento.

El producto comercial utilizado de *Bacillus* es un cultivo DFM (Direct Feed Microbial, microbios directo en el alimento), compuesto por esporas de tres especies: *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Bacillus licheniformis*. El producto contiene una concentración de 10¹¹ esporas estables /g sólido. Se añadió DFM al alimento para obtener la dieta experimental con *Bacillus* con una concentración final de 10⁶ esporas/g de alimento.

1. Experimento 1. Efecto de la glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre la infección con *S. Enteritidis*.

El objetivo principal de este experimento fue determinar el efecto de la suplementación de glucosa oxidasa y *Bacillus* en el alimento

sobre la infección por *S. Enteritidis*, evaluando la invasión bacteriana en órganos mediante la recuperación y conteo de *S. Enteritidis* y el desarrollo de la inmunidad local con la medición de la concentración de anticuerpos (IgY) en el suero de aves en respuesta a la infección.

1.1 Diseño experimental

Los pollitos se pesaron individualmente y se asignaron aleatoriamente a uno de los cinco grupos, tres réplicas por grupo (n = 14 pollitos/grupo) como se muestra en el **cuadro 1**:

CUADRO 1

Experimento 1. Efecto de la glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre la infección con *S. Enteritidis*.

Grupo	Tratamiento	Desafío	n/R	Réplicas	Toma de muestras
1	Control negativo	-			
2	Control positivo				
3	<i>Bacillus</i>	<i>Salmonella</i> Enteritidis	14	3	Días 7 y 14 post inoculación
4	GOx				
5	<i>Bacillus</i> + GOx				

A los pollos que recibieron desafío se les administró 10^8 UFC de *S. Enteritidis* por vía oral a los 7 días de edad. Posteriormente, a los 7 y 14 días después de la inoculación (14 y 21 días de edad), a 12 pollos por grupo (4 pollos por réplica), se les aplicó eutanasia por inhalación de CO_2 y fueron sangrados por vena femoral para obtener suero para la determinación de IgY específica para *Salmonella* Enteritidis. A su vez, se recolectaron las tonsilas

cecales, hígado y bazo, para la recuperación de *Salmonella*.

2. Experimento 2. Efecto de la glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre parámetros productivos de los pollos de engorda.

El objetivo del segundo experimento fue determinar el efecto de la suplementación de glucosa oxidasa y *Bacillus* en los parámetros productivos y la integridad intestinal de los pollos de engorda. Para evaluar los parámetros productivos, se analizó el rendimiento, mientras que, para evaluar la integridad intestinal, se realizaron mediciones de inmunidad local mediante el ensayo de inmunoabsorción enzimática (ELISA) para determinar los niveles de IgA total en lavados intestinales. Además, se llevó a cabo la determinación sérica de dextrano-isotiocianato de fluoresceína-dextrano (FITC-d) como indicador del transporte paracelular y la disfunción de la barrera mucosa.

Los pollitos se pesaron individualmente y se asignaron aleatoriamente a uno de cuatro grupos, diez réplicas por grupo (n = 10 pollitos/grupo) como se muestra en el **cuadro 2**:

CUADRO 2

Experimento 2. Administración de glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre parámetros productivos de los pollos de engorda.

Grupo	Tratamiento	n/R	Réplicas	Toma de muestras
1	Control	10	10	Día 21 de edad
2	<i>Bacillus</i>			
3	GOx			
4	<i>Bacillus</i> + GOx			

En este caso, se evaluaron los parámetros de rendimiento, peso corporal (PC), ganancia de peso corporal (GPC), consumo de alimento (CA) e índice de conversión (IC) los días 1, 7, 14 y 21.

Al concluir el período experimental (21 días), se llevó a cabo la eutanasia de los pollos por inhalación de CO², fueron sangrados 20 pollos (2 por réplica) por la vena femoral para obtener suero para la determinación de dextrano marcado con isotiocianato de fluoresceína (FITC-d), la dosis de FITC-d se calculó en función del peso corporal del grupo al día 21. Además, se recolectaron órganos para el análisis de varios indicadores de la integridad intestinal: muestras intestinales, para realizar lavados y cuantificar la inmunoglobulina A (IgA) total presente en la mucosa intestinal.

RESULTADOS

1. Experimento 1. Efecto de glucosa oxidasa y Bacillus sobre la infección con S. Enteritidis.

1.1 Recuperación y conteo de Salmonella Enteritidis

Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas, se observaron tendencias a la reducción del recuento de SE y su incidencia en ambos días y tejidos de los pollos con suplementación en el alimento en comparación con el grupo control positivo. En el día 14, en el recuento de SE en tonsilas cecales (TCC) el grupo tratado con *Bacillus* tuvo una reducción de la colonización del 17%, mientras que la suplementación con glucosa oxidasa resultó en la reducción de la colonización del 25%. Sin embargo, la combinación de *Bacillus* y glucosa oxidasa mostró una mayor reducción, alcanzando una reducción del 50%. En cuanto al hígado/bazo (H/B) se observaron resultados similares.

En el día 21, se mantuvieron las diferencias observadas en el recuento de SE en tonsilas cecales (TCC). El grupo control negativo mostró una colonización del 0%, mientras que el grupo control positivo presentó una colonización del 92%. Tanto el grupo tratado con *Bacillus* como el grupo tratado con glucosa oxidasa, así como la combinación de ambos, mostraron una reducción similar en la colonización de 8% y 25% respectivamente. En el hígado/bazo (H/B) los resultados también reflejaron reducciones en la colonización de los grupos tratados.

1.2 Niveles de IgY en suero específica de *Salmonella Enteritidis*

No se encontraron diferencias estadísticas significativas en los niveles de IgY entre los grupos en ambos días de muestreo. Sin embargo, el grupo tratado con *Bacillus* mostró los niveles más bajos de IgY, mientras que el grupo tratado con *Bacillus* y glucosa oxidasa en el día 14 presentó los niveles más altos. Y en el día 21 los niveles más altos se presentan en el grupo tratado con glucosa oxidasa.

2. Experimento 2. Efecto de glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre parámetros productivos de los pollos de engorda.

2.1 Parámetros de rendimiento

Con respecto a los parámetros de rendimiento, el uso de *Bacillus* demostró mejoras significativas en varios parámetros de rendimiento en pollos de engorda en comparación con otros grupos de tratamiento durante el período experimental: el grupo tratado con *Bacillus* exhibió un peso corporal significativamente mayor en comparación con el grupo control y otros grupos tratados en diferentes etapas del ciclo de producción. La ganancia de peso diaria en los pollos de engorda del grupo tratado con *Bacillus* fue superior en comparación con los otros grupos. A pesar del

incremento en el peso corporal y la ganancia de peso, el grupo tratado con *Bacillus* mantuvo un consumo de alimento similar en comparación con otros grupos. Esto sugiere una eficiencia en la utilización de nutrientes, ya que se observó un incremento sustancial en la ganancia de peso sin un aumento proporcional significativo en el consumo de alimento. Finalmente, también se muestra un índice de conversión significativamente mejorado en relación con los otros grupos en 1 a 14 días de edad.

2.2 Niveles totales de IgA intestinal y concentración sérica de FITC-d

En el caso de los niveles totales de IgA intestinal, se produjo una reducción en la concentración promedio de IgA de los grupos tratados en comparación con el grupo control. La suplementación con *Bacillus* o GOx en la dieta de los pollos redujo la concentración de IgA intestinal total a los 21 días de edad, aunque la combinación de estos incrementó los niveles.

Con respecto a la concentración sérica de FITC-d, no hay diferencia significativa del grupo control con respecto al grupo tratado con GOx. Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el grupo control con el grupo tratado con *Bacillus* y el grupo con *Bacillus* + GOx.

DISCUSIÓN

Experimento 1. Efecto de glucosa oxidasa y Bacillus sobre la infección con S. Enteritidis.

Recuperación y conteo de *Salmonella* Enteritidis

Aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas, se observaron tendencias a la reducción del recuento de SE y su

incidencia en ambos días (14 y 21) y tejidos (tonsilas cecales y hígado/bazo) en los pollos suplementados en comparación con el grupo control positivo. Estas tendencias hacia la reducción son consistentes con varios estudios publicados en los últimos años que han investigado el uso de probióticos y enzimas como estrategias para controlar la colonización de *Salmonella* en aves.

Niveles de IgY en suero específica de *Salmonella* Enteritidis

La respuesta inmunológica de las aves a la exposición a *Salmonella* se evalúa midiendo los niveles de IgY específica en el suero.

Los resultados de nuestro experimento son similares a otras investigaciones, en las cuales no encontraron diferencias estadísticas significativas pero sí describieron un aumento de la IgY sérica en aves que recibieron alimentos suplementados con diferentes muestras de *Lactobacillus* con respecto al grupo control negativo, como fue en nuestro caso. Puede haber varias razones por las que *Salmonella* no montó una producción de anticuerpos después del desafío con la bacteria en pollos, una de estas razones puede ser que *Salmonella* infectó a los pollos, pero no logró colonizar el tracto gastrointestinal entre el desafío y el muestreo (según nuestros resultados de TCC e H/B).

Experimento 2. Efecto de glucosa oxidasa y *Bacillus* sobre parámetros productivos de los pollos de engorda.

Parámetros de rendimiento

En este estudio, investigamos el efecto de un producto comercial a base de tres *Bacillus*: *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* y *Bacillus licheniformis*, los cuales han reportado un efecto sinérgico. En estudios anteriores se informó la capacidad de las esporas de *Bacillus* para germinar y enumerarse en el tracto gastrointestinal de las aves, mejorando el aumento de la digestibilidad de los

nutrientes, la mejora de la morfología intestinal, el equilibrio de la microbiota intestinal, la modulación de la inmunidad y los parámetros de rendimiento. Nuestros resultados mostraron que la administración de *Bacillus* en pollos de engorda resultó con mejora en el peso corporal, ganancia de peso, eficiencia en la conversión alimenticia y mantuvo un consumo de alimento adecuado.

Niveles totales de IgA intestinal y concentración sérica de FITC-d

Comenzando con los niveles totales de IgA intestinal, los resultados muestran una diferencia estadística significativa en los grupos tratados en comparación con el grupo control. Los niveles más altos de la concentración de IgA se presentó en el grupo control y puede deberse a que la producción de IgA secretora sirve como primera línea de defensa para proteger el epitelio intestinal de toxinas entéricas e inhibir la adhesión e invasión de microorganismos patógenos, así como para proteger el intestino de los alimentos, antagonizar los procesos inflamatorios y mejorar los mecanismos de defensa no específicos, por lo cual, al no haber algún aditivo como lo es el *Bacillus* o GOx hay mayor producción de IgA para proteger el intestino. Por el contrario, la disminución del nivel de IgA por el uso de *Bacillus* y GOx podría estar relacionada con sus propiedades antiinflamatorias e inmunomoduladoras, reduciendo las alteraciones morfológicas e inmunológicas intestinales mediante la expresión de las proteínas citoprotectoras y la modulación de diversas citocinas.

Por otro lado, la FITC-d sérica aumenta con la inflamación y se considera un buen indicador para medir la permeabilidad intestinal inducida por la inflamación entérica en pollos de engorda. La reducción significativa ($P < 0.05$) del nivel sérico de FITC-d por *Bacillus* en comparación con el grupo control podría deberse al aumento de la regulación de las proteínas de unión estrecha. La

molécula de FITC-d es de 3 a 5 kDa y, por lo tanto, no atraviesa la barrera del tracto gastrointestinal. Sin embargo, cuando se alteran las uniones estrechas epiteliales, la molécula FITC-d puede entrar en el torrente sanguíneo por el aumento de la permeabilidad transmucosa tras la administración oral de FITC-d. Varios estudios han confirmado que la inflamación intestinal puede ser inducida por ingredientes dietéticos o estrés, afectando así la permeabilidad intestinal. Es posible que al administrar *Bacillus* y GOx juntos en la dieta pudo inducir inflamación intestinal y alterar las proteínas de la unión estrecha, lo que permitió aumentar la permeabilidad intestinal y así las concentraciones de FITC-d en el suero.

CONCLUSIONES

Los resultados generales del presente estudio sugieren que *Bacillus* y GOx pueden usarse para la prevención por la infección por *S. Enteritidis*, ya que tienen el potencial de reducir la colonización y mitigar sus efectos negativos en los pollos de engorda. Estos efectos podrían lograrse mediante mecanismos que podrían implicar la modulación de la microbiota intestinal y sus vías metabólicas. Los efectos de GOx contra *S. Enteritidis* a una dosis más alta (>100U/Kg) pueden revelar resultados más prometedores y actualmente están bajo evaluación.

Aunque no se observaron diferencias significativas en la función inmune con la suplementación dietética de GOx o *Bacillus*, se observó una mejor ganancia de peso con el uso de *Bacillus*, y es importante destacar que se observaron efectos más beneficiosos en la composición de la microbiota intestinal con los tratamientos individuales en comparación con la combinación de GOx y *Bacillus*. Sin embargo, la eficacia de esta combinación y sus efectos en el

intestino de los pollos sigue en investigación.

REFERENCIAS

- Chen, J., Wang, P., Liu, C., Yin, Q., Chang, J., Wang, L., Jin, S., Zhou, T., Zhu, Q., & Lu, F. (2023). Effects of compound feed additive on growth performance and intestinal microbiota of broilers. *Poultry Science*, 102(1), 102302. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102302>.
- Gao, S., Zhang, L., Zhu, D., Huang, J., Yang, J., Jiang, J., Wu, H., & Lv, G. (2022). Effects of glucose oxidase and bacillus subtilis on growth performance and serum biochemical indicexs of broilers exposed to aflatoxin B1 and endotoxin. *Animal Feed Science and Technology*, 286, 115186. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115186>.
- Li, C., Cai, H., Li, S., Li, G., Deng, X., Bryden, W. L., & Zheng, A. (2022). Comparing the potential of *Bacillus amyloliquefaciens* CGMCC18230 with antimicrobial growth promoters for growth performance, bone development, expression of phosphorus transporters, and excreta microbiome in broiler chickens. *Poultry Science*, 101(11), 102126. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102126>.
- Qu, W., & Liu, J. (2021). Effects of glucose oxidase supplementation on the growth performance, antioxidative and inflammatory status, gut function, and microbiota composition of broilers fed moldy corn. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.646393>.

- Tellez, G., & Latorre, J. D. (2017). Editorial: Alternatives to Antimicrobial Growth Promoters and their Impact in Gut Microbiota, Health and Disease. *Frontiers in Veterinary Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00196>.
- Tsuge, H., Natsuaki, O., & Ohashi, K. (1975). Purification, properties, and molecular features of glucose oxidase from *Aspergillus niger*. *Journal of Biochemistry*, 78(4), 835-843. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a130974>.
- Wang, Y., Wang, B., Zhan, X., Wang, Y., & Li, W. (2022). Effects of glucose oxidase and its combination with *B. amyloliquefaciens* SC06 on intestinal microbiota, immune response and antioxidative capacity in broilers. *Animal*, 16(3), 100473. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100473>.
- Zhao, Y., Fu, J., Li, P., Chen, N., Liu, Y., Liu, D., & Guo, Y. (2022). Effects of dietary glucose oxidase on growth performance and intestinal health of AA broilers challenged by *Clostridium perfringens*. *Poultry Science*, 101(1), 101553. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101553>.

Capacidad lítica de un bacteriófago sobre *Escherichia coli* multirresistentes aisladas de cuadros de mastitis en bovinos

Carrillo-Huerta YD.¹, Guzmán-Rodríguez JJ.², Loeza-Lara PD.³, Gutiérrez-Chávez AJ.^{1,4}

¹Programa de Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, DICIVA, Universidad de Guanajuato, ²Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del estado de Michoacán, ³Universidad de la Ciénega del estado de Michoacán de Ocampo, ⁴Departamento de Veterinaria y Zootecnia, DICIVA, Universidad de Guanajuato.

La mastitis bovina es el principal problema de la industria lechera, la cual afecta a la economía y sustentabilidad de las unidades de producción, y contribuye al aumento de riesgos para la salud pública debido a la presencia de patógenos resistentes a los antimicrobianos. *Escherichia coli* es el principal patógeno involucrado en la mastitis ambiental, con un número creciente de casos multirresistentes a los antibióticos (MRA) en los últimos años. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad lítica de un bacteriófago *E. coli* multirresistentes aisladas de cuadros de mastitis en bovinos. Se obtuvieron 19 aislados MRA de *E. coli*, con índices de multirresistencia a los antibióticos (IMA) desde 0.36 a 1.00. El fago de *E. coli* mostró un 100% de capacidad para lisar los aislados utilizados en el presente estudio, resultados que implican una potencial alternativa para incorporarse como una herramienta en los protocolos de control de la mastitis bovina, particularmente en aquellos casos donde las bacterias muestran una nula respuesta a los antibióticos convencionales.

Palabras clave: multirresistencia, fagoterapia, mastitis ambiental.

Introducción

Para el 2050, está previsto que la demanda mundial de productos de origen animal incremente alrededor de un 38% (Komarek *et al.*, 2021). Esto representa no solo un reto, sino una oportunidad de crecimiento para la producción de leche en México. El país ocupa el puesto décimo quinto a nivel mundial en producción de leche de bovino; sin embargo, todavía presenta un déficit de producción aproximada de 3 mil millones de litros que deben importarse de países como Estados Unidos de América (SIAP, 2022).

La mastitis es el problema más común dentro de las unidades de producción de leche de bovino, representando una enfermedad que afecta tanto la calidad como la cantidad de la leche, que genera un alto impacto al medio ambiente y a la sustentabilidad de la industria lechera (Puerto *et al.*, 2021). Se han calculado las pérdidas asociadas a la mastitis en aproximadamente 2.8 litros por vaca afectada, lo cual, junto a los costos directos (pérdidas de leche, de animales, tratamientos) e indirectos (disminución de producción, reemplazos, problemas reproductivos) representan alrededor de MXN\$8,880.00 por cada caso clínico (Rollin *et al.*, 2015).

El principal tratamiento de la mastitis es la aplicación de antibióticos convencionales; sin embargo, los protocolos de prevención y control en la industria lechera están formulados para la mastitis contagiosa (siendo *Staphylococcus aureus* su principal patógeno), lo cual ha generado dos principales problemas en años

recientes: que surjan más casos de mastitis ambiental (cuyo principal patógeno es *Escherichia coli*) y que dichos casos estén causados por bacterias multirresistentes a los antibióticos (Klaas & Zadoks, 2017; Xiangbin *et al.*, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014) estima que, para el año 2050, el número de muertes atribuibles a la resistencia a los antibióticos será de 10 millones al año, con un costo aproximado de 100 trillones de dólares (Smith & Coast, 2013). Por este motivo, es de vital importancia encontrar estrategias alternativas a los antibióticos, especialmente para las bacterias clasificadas como prioritarias por la OMS (2024), entre las que se encuentra *Escherichia coli*, ya que representan un riesgo significativo para la salud pública, especialmente para los trabajadores de la industria pecuaria (Hao *et al.*, 2024).

Además de la generación de resistencia antimicrobiana, los residuos de antibióticos representan otro de los mayores problemas para la salud pública. Una vez consumidos, estos residuos, encontrados en los productos pecuarios, generan reacciones tóxicas y alérgicas, que pueden incluir daños a largo plazo en su papel como agentes carcinógenos y teratógenos (Menkem *et al.*, 2019).

En los últimos años, se han estudiado alternativas al uso de antibióticos convencionales, entre las que se encuentran los extractos de plantas, las nanopartículas de metal, las bacteriocinas y los bacteriófagos (Zaatout, 2022).

Los bacteriófagos (o fagos) son virus que infectan y lisan a las bacterias; son altamente específicos, ya que al infectar solamente a una especie o, incluso, a una cepa particular de bacteria, la lisis es

provocada a las bacterias patógenas invasoras, y no a las células de los seres vivos (Murray *et al.*, 2017).

La terapia de bacteriófagos (fagoterapia) resulta beneficiosa por varios factores, ya que no se ha demostrado que los fagos provoquen daño a los seres humanos, los animales ni al medio ambiente; son capaces de atravesar barreras naturales como la hematoencefálica, por lo que pueden alcanzar sitios localizados de infección dentro de los organismos vivos; además, los fagos tienen un sistema de autorregulación, ya que su replicación depende de la existencia de bacterias en el organismo (Kutter *et al.*, 2020).

Con el objetivo de contribuir a la búsqueda de alternativas terapéuticas para la mastitis bovina, en el presente estudio se enfrentó un bacteriófago de *Escherichia coli* sobre aislados multirresistentes para registrar su eficacia lítica.

2. Materiales y métodos

2.1. Identificación morfológica y bioquímica de los aislados

Los aislados de *E. coli* del presente estudio fueron seleccionados del Banco Biológico de Materiales de la Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, los cuales fueron obtenidos de vacas diagnosticadas con mastitis. Un total de 19 aislados fueron reactivados en el laboratorio de Anatomía y Patología de la Universidad de Guanajuato. 100 μ L de cada muestra fue extendida homogéneamente sobre las superficies de agar MacConkey y agar Eosina y Azul de metileno en cajas Petri; posteriormente, las cajas se dejaron secar dentro de una campana de bioseguridad y se incubaron a una temperatura de $36 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Las cajas se leyeron

después de 24-48 h, tal como está descrito en el Consejo Nacional de Mastitis (NMC, 1999), para identificar el crecimiento de colonias sugerentes a *E. coli*. Los aislados fueron identificados morfológica y bioquímicamente, incluyendo las pruebas de indol, citrato, motilidad, producción de ácido sulfhídrico (H₂S), producción de gas, fermentación de carbohidratos (lactosa, glucosa y sacarosa), e hidrólisis de urea (Sykes & Rankin, 2014). Todos los aislados se cultivaron en caldo Luria Bertani (LB) a $36 \pm 1^\circ\text{C}$, y resguardados a -20°C con 15% de glicerol.

2.2. Determinación de la eficacia lítica del fago de *Escherichia coli*

El fago de *E. coli* fue aislado, purificado y provisto por la compañía SEDEBIO[®]. Se determinó la capacidad lítica del fago a través de la prueba de la gota, con modificaciones (Poxleitner *et al.*, 2018). 1 mL de cada solución se extendió de manera homogénea utilizando hisopos estériles de algodón sobre placas Petri con agar LB dividido en cuatro cuadrantes. Después, una gota de 20 μL de la solución de fagos, a una concentración de 4.8×10^5 , se colocó sobre tres de los cuadrantes de cada caja inoculada con *E. coli*, colocando en los cuadrantes número 4 una gota de agar LB estéril como control negativo. Las cajas se secaron y se incubaron a $36 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 18 a 24 h para su posterior lectura y observación de la actividad lítica del fago, el cual fue determinado por la presencia o ausencia de zonas claras (calvas) en la superficie del agar. Los diámetros de las zonas de lisis fueron medidos y registrados en mm.

3. Resultados

El bacteriófago de *Escherichia coli* tuvo una efectividad del 100% de lisis sobre los 19 aislados de leche de vacas diagnosticadas con

mastitis, con un diámetro de calvas promedio de 2.26 mm (**Cuadro 1**).

Cuadro 1.

Eficacia lítica de bacteriófago sobre aislados MRA de *E. coli* obtenidos de leche de vacas diagnosticadas con mastitis

Aislado	Calva (mm)				Aislado	Calva (mm)			
	R1	R2	R3	\bar{x}		R1	R2	R3	\bar{x}
1	3	3	3	3	11	2	2	4	2.67
2	3	3	2	2.67	12	2	2	3	2.33
3	2	2	1	1.67	13	2	2	3	2.33
4	2	2	2	2	14	3	3	3	3
5	2	2	2	2	15	2	2	2	2
6	2	2	2	2	16	3	3	4	3.33
7	2	2	3	2.33	17	2	2	2	2
8	3	3	3	3	18	1	1	1	1
9	2	2	2	2	19	2	2	1	1.67
10	2	2	2	2					

4. Discusión

Los patógenos ambientales y contagiosos causantes de mastitis en las unidades de producción de leche de bovino, pero sobre todo *E. coli*, requieren estrategias alternativas que mitiguen la resistencia antimicrobiana que ha ido en aumento en los últimos años. Dentro de estas estrategias, los bacteriófagos y la fagoterapia pueden considerarse una alternativa prometedora ya que, además de igualar o mejorar los efectos terapéuticos de los antibióticos convencionales, contribuyen a la preservación de la salud pública y del medio ambiente (Carrillo-Huerta, 2024).

Los resultados del presente estudio han resultado significativamente superiores en comparación con lo descrito por otros autores, como el de Abdulhussein & Abdulsattar (2022), quienes aislaron dos bacteriófagos de *E. coli* (AAA1 y AAA2) en Iraq, y registraron una eficacia lítica de solo un 12 y 3%, respectivamente. Mientras que Sahin et al. (2022), probaron tres fagos y obtuvieron porcentajes de lisis del 25, 64.5 y 79.2%, respectivamente, sobre sus aislados de *E. coli*. Otro fago de *Escherichia coli* fue aislado y probado por Xiao et al. (2023), el cual mostró eficacia lítica sobre 21 de sus 92 aislados (22.8%); resultados similares fueron encontrados por Elbahnasawy & El Sayed (2021), en donde se probaron otros tres fagos y se obtuvieron porcentajes de eficacia lítica de 39.1, 28.9 y 32.3% respectivamente, sobre aislados de *E. coli*, de los cuales, el 60% estuvieron clasificados como MRA. Dos fagos de *E. coli* fueron enfrentados a 24 aislados de *E. coli* en un estudio llevado a cabo por Fu et al. (2021), donde se registró una eficacia lítica del primer fago sobre la mitad de los aislados (7 de ellos MRA), y del segundo fago sobre 10 de los aislados (todos ellos MRA). Al compararse los patrones de resistencia a los antibióticos con la actividad lítica observada en los estudios antes mencionados, se demostró que no hubo asociación entre ambas variables, situación que se confirma con los resultados del presente estudio, al haberse obtenido un 100% de eficacia lítica sobre 19 aislados de **E. coli** multirresistentes.

5. Conclusión

De los 19 aislados de *E. coli* multirresistentes seleccionados para este estudio, presentaron un índice de multirresistencia a los antibióticos de 0.36 a 1.00, considerando que un valor igual o

mayor a 0.2 es de importancia sanitaria. El bacteriófago de *Escherichia coli* demostró un 100% de capacidad lítica en contra de los aislados obtenidos de leche de vacas infectadas con mastitis utilizados en el presente estudio, lo cual vuelve al fago un prospecto prometedor para ser utilizado como un agente terapéutico en contra no solo de la mastitis ambiental ocasionada por *Escherichia coli*, sino contra cualquier cuadro ocasionado por dicha bacteria en animales e, incluso, en seres humanos.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a Servicios y Desarrollo de Biofármacos S, A. (SEDEBIO™) y a la DAIP-Universidad de Guanajuato por el proyecto CIIC-012-2024.

7. Referencias

Abdulhussein, A. A., Abdulsattar, B. O. 2022. Isolation and characterization of two novel phages as a possible therapeutic alternative against multi-drug resistant E. coli. Gene Reports. 28: 1-9 <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2022.101644>

Carrillo-Huerta, Y.D., 2024. Capacidad lítica in vitro de bacteriófago contra *Escherichia coli* aislada de bovinos. Tesis de Maestría. Programa de Maestría en Producción Pecuaria. División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato. México.

Elbahnasawy, M. A., El Sayed, E. E., Azzam, M. I., 2021. Newly isolated coliphages for bio-controlling multidrug-resistant *Escherichia coli* strains. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 16: 1-12 <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100542>

Fu, P., Zhao, Q., Shi, L., Xiong, Q., Ren, Z., Xu, H., Chai, S., Xu, Q., Sun, X., Sang, M., 2021. Identification and characterization of two bacteriophages with lytic activity against multidrug-resistant *Escherichia coli*. Virus Research. 291: 198196 <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198196>

Hao, R., Shoaib, M., Tang, M., Cao, Z., Liu, G., Zhang, Y., Wang, S., Shang, R., Zhang, H., Pu, W., 2024. Genomic insights into resistome, virulome, and mobilome as organic contaminants of ESKAPE pathogens and *E. coli* recovered from milk, farm workers, and environmental settings in Hainan, China. *Emerging Contaminants*. 10: 100385 doi: 10.1016/j.emcon.2024.100385

Klaas, I. C., Zadoks, R. N., 2017. An update on environmental mastitis: Challenging perceptions. *Transboundary and Emerging Diseases*. 65: 166-185 <https://doi.org/10.1111/tbed.12704>

Komarek, A. M., Dunston, S., Enahoro, S., Godfray, H. C. J., Herrero, M., Mason-D'Croz, D., Rich, K. M., Scarborough, P., Springmann, M., Sulser, T. B., Wiebe, K., Willenbockel, D. 2021. Income, consumer preferences, and the future of livestock-derived food demand. *Global Environmental Change*. 70: 1-11 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102343>

Kutter, E., Hoyle, N., Eisner, W., Kuhl, S., Alavidze, Z., Blasdel, B. G., 2020. Phage therapy: Bacteriophages as natural, self-limiting antibiotics. En Pizzorno, J. E., Murray, M. T., (Eds.), *Textbook of Natural Medicine* (pp. 777-787). Churchill Livingstone. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1100.3840>

Menkem, Z. E., Ngangom, B. L., Tamunjoh, S. S. A., Boyom, F. F. 2019. Antibiotic residues in food animals: Public health concern. *Acta Ecologica Sinica* 39(5): 412-415 <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2018.10.004>

Murray et al., 2017). Murray, P. R., Rosenthal, K. S., Pfaller, M. A., 2017. *Microbiología médica* (9° ed.). Elsevier Health Sciences. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=GOaVDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=.+Microbiolog%C3%ADa+m%C3%A9dica+\(9%C2%BO+ed.\).+Elsevier+Health+Sciences.&ots=hSi_IGNVno&sig=3TuMxlPqjOLc9G8kmwtfTHTiFPs#v=onepage&q=.%20Microbiolog%C3%ADa%20m%C3%A9dica%20\(9%C2%BO%20ed.\).%20Elsevier%20Health%20Sciences.&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=GOaVDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=.+Microbiolog%C3%ADa+m%C3%A9dica+(9%C2%BO+ed.).+Elsevier+Health+Sciences.&ots=hSi_IGNVno&sig=3TuMxlPqjOLc9G8kmwtfTHTiFPs#v=onepage&q=.%20Microbiolog%C3%ADa%20m%C3%A9dica%20(9%C2%BO%20ed.).%20Elsevier%20Health%20Sciences.&f=false)

NMC, 1999. National Mastitis Council. *Laboratory handbook on bovine mastitis*, tercera edición. New Prague, Minnesota. Disponible en https://www.academia.edu/50651208/Laboratory_Handbook_on_Bovine_Mastitis

OMS, 2014. Organización Mundial de la Salud. Antimicrobial resistance: global report on surveillance. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/112642> Consultado el 16 de noviembre del 2022

OMS, 2024. Organización Mundial de la Salud. WHO bacterial priority pathogens list, 2024: Bacterial pathogens of public health importance to guide research, development and strategies to prevent and control antimicrobial resistance. Disponible en: <https://who.int/publications/i/item/9789240093461> Consultado el 30 de julio del 2024

Poxleitner, M., Pope, W., Jacobs-Sera, D., Sivanathan, V., Hatfull, G., 2018. Phage Discovery Guide. Howard Hughes Medical Institute <https://seaphagesphagediscover> Consultado el 20 de mayo de 2023

Puerto, M. A., Shepley, E., Cue, R. I., Warner, D., Dubuc, J., Vasseur, E., 2021. The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 104: 7932-7943 <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19584>

Rollin, E., Dhuyvetter, K.C., Overton, M. W., 2015. The cost of clinical mastitis in the first 30 days of lactation: An economic modeling tool. *Preventive Veterinary Medicine*. 122: 257-264 <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2015.11.006>

Sahin, K., Bao, H., Zhu, S., Soleimanbi-Delfan, A., He, T., Mansoorianfar, M., Wang, R., 2022. Biocontrol of O157:H7, and colistin-resistant MCR-1-positive *Escherichia coli* using a new designed broad host range phage cocktail. *LWT*. 254: 1-11 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112836>

SIAP, 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Escenario mensual de productos agroalimentarios. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/ Consultado el 01 de agosto de 2024

Smith, R., Coast, J., 2013. The true cost of antimicrobial resistance. *BMJ*. 346: 1-5 <https://doi.org/10.1136/bmj.f1493>

Sykes, J. E., Rankin, S. C., 2014. Isolation and identification of aerobic and anaerobic bacteria.

En Sykes, J. E. (Ed.), Canine and Feline Infectious Diseases. Pp. 17-28. Saunders
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-4377-0795-3.00003->

Xiangbin, S., Huang, X., Xu, H., Zhang, C., Chen, S., Liu, F., Guan, S., Zhang, S., Zhu, K., 2020. The prevalence of pathogens causing bovine mastitis and their associated risk factors in 15 large dairy farms in China: An observational study. *Veterinary Microbiology*. 247: 1-7
<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108757>

Xiao, T., Zhu, X., Wang, W., Jia, X., Guo, C., Wang, X., Hao, Z., 2023. A novel lytic bacteriophage against colistin-resistant *Escherichia coli* isolated from different animals. *Virus Research*. 329: 1-9
<https://doi.org/10.1016/j.virusres.2023.199090>

Zaatout, N., 2022. An overview on the mastitis-associated *Escherichia coli*: Pathogenicity, host immunity and the use of alternative therapies. *Microbiological Research*. 256: 1-14
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126960>

Diseño de partículas de pectina protegida con aditivos poliméricos: mitigación de la degradación en el rumen y disminución del color amarillo de la leche de vacas en pastoreo

Introducción

La leche de vaca contiene β -caroteno, que es el compuesto responsable de la coloración amarillo-pálida, el color es un factor que se considera una medida visual de frescura y calidad (Khliji et al., 2010). La pectina es un polisacárido compuesto por ácido galacturónico que tiene la capacidad de disminuir la digestión de los carotenoides cambiando el entorno digestivo, ya que los carotenoides se digieren y absorben junto con los lípidos, al unirse con el calcio, interactúan con las sales biliares, alteran la viscosidad del medio digestivo, cambian la interfaz entre las fases de aceite y agua e inhiben la actividad de la lipasa pancreática (Cerón *et al.*, 2019). Los microorganismos ruminales limitan la acción de aditivos, como la pectina, que requieren realizar su acción a nivel intestinal; por lo tanto, es necesario protegerlos para obtener mejor eficacia en la absorción, no toxicidad y precio (Peres *et al.* 2016). El uso de polímeros sintéticos ha garantizado la integridad de los aditivos; sin embargo, una desventaja de los polímeros es el alto costo, éstos

deben provenir de fuentes económicas y que sean de fácil disponibilidad para ser usados en el proceso de protección por lo que el objetivo de este estudio fue desarrollar un método económico para proteger pectina cítrica mediante la utilización de combinaciones de materiales protectores como aceite de palma, óxido de calcio y goma laca (un polímero natural). El estudio se llevó a cabo en dos fases: la primera fase implicó la elaboración y caracterización de las partículas de pectina cítrica, mientras que la segunda fase comprendió un experimento *in vivo* realizado con vacas en pastoreo.

Metodología

Cuatro novillos Holstein (300 ± 10.5 kg) fueron cuidados de acuerdo con los lineamientos del Consejo Mexicano de Cuidado Animal, y los procedimientos de cánula ruminal y duodenal se realizaron mediante cirugías tres meses antes del inicio del experimento. El protocolo para el mantenimiento y manejo de los novillos fue aprobado por el Comité Asesor Administrativo de Cuidado Animal del Colegio de Postgraduados, protocolo de estudiantes con matrícula 11831011.

El análisis se dividió en dos etapas:

Etapas 1: Caracterización y análisis de las partículas, que incluyó tres fases de estudio:

Fase 1: Diseño de partículas de pectina recubiertas de biopolímeros con el objetivo de proteger la pectina, haciéndola insoluble en el rango de pH de 5,8 – 6,5, y facilitando la degradación del

biopolímero a pH < 4 para mejorar su disponibilidad a nivel intestinal y su unión con carotenos.

Fase 2: Evaluación de la tasa de liberación de la pectina a pH < 4,0 mediante la cuantificación de ácidos urónicos. Este método indirecto cuantifica la pectina liberada del biopolímero degradado.

Etapa 2: Evaluación de las partículas de pectina protegida en el rumen y la productividad de las vacas, que incluye dos fases de estudio:

Fase 3: Evaluación de la degradación de las partículas de pectina protegida en bovinos a través de bolsas in situ introducidas en el rumen de bovinos canulados.

Fase 4: Desarrollo de un ensayo *in vivo* con vacas lactantes en pastoreo, evaluando metabolitos sanguíneos y características fisicoquímicas de la leche.

Fase 1: Las partículas se elaboraron utilizando pectina cítrica (grado de esterificación 69%). Los encapsulantes utilizados fueron aceite rojo de palma africana (*Elaeis guinnensis*), óxido de calcio, goma laca blanca en polvo, alcohol etílico grado reactivo (96°) y agua destilada.

El procedimiento se realizó con una modificación de la técnica descrita por Pablos en 2005. Primero se pesaron 100 g de aceite de palma y se calentaron ligeramente hasta alcanzar su punto de fusión a 50 °C. Después, se añadieron 100 g de pectina y se homogeneizó. Al aceite caliente se le añadió óxido de calcio (CaO)

en una proporción 1:1. La mezcla se calentó adicionalmente entre 100-150 °C mientras se aplicaba una presión de 2 a 4 bares durante 20 minutos utilizando un autoclave. Simultáneamente, se añadieron 200 mL de agua destilada a la mezcla para permitir que el CaO formara CaOH. Este procedimiento fue el diseño de las partículas de pectina cítrica protegidas con aceite de palma (PwP). Posteriormente, las partículas de pectina cítrica secas se impregnaron con una solución de goma laca durante 5 minutos. La solución de goma laca se preparó mezclando 200 g de goma laca con 1 L de alcohol de grado reactivo y agitándola durante 20 minutos en una placa magnética, y se diseñaron como partículas de pectina cítrica protegidas con aceite de palma y goma laca (PwPL). Las partículas de pectina protegidas se secaron a temperatura ambiente durante 24 horas y se almacenaron en bolsas de plástico de 10 kg. Las partículas protegidas se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido. Las muestras se colocaron en un portamuestras de latón y se aseguraron con cinta de aluminio de doble adhesivo y cinta conductora de carbono de doble adhesivo. Las partículas fueron recubiertas con oro durante 4 minutos utilizando un ionizador de metales. Posteriormente, las muestras fueron observadas y analizadas en un microscopio electrónico de barrido a 10 Kv.

Fase 2: Las soluciones tampón (pH 7 y 5) se prepararon mezclando bicarbonato de sodio (Fermont 12903-2,5), fosfato de sodio heptahidratado (J.T. Baker 3828-01), cloruro de potasio (KCl) (J.T.Baker 3040-1), cloruro de sodio (NaCl) (Meyer 2365-500) y sulfato de magnesio heptahidratado (J.T.Baker 2500) en 2 L de agua destilada. La saliva artificial de McDougall se ajustó a un pH de 7,0 a 5,0 utilizando ácido acético (J.T.Baker 9507-60). Además, el tampón de pH 3,0 se preparó mezclando 10,21 g de ftalato ácido de potasio (Mallinckrodt 5704) con 250 mL de agua y 4,108 mL de

ácido clorhídrico (HCl) (J.T.Baker 9535-05), y completando el volumen a 250 mL. Para crear el tampón de pH 2,0, se mezclaron 3,73 g de KCl con agua destilada para alcanzar un volumen de 250 mL. Luego, 100 mL de la solución de KCl se mezclaron con 21,2 mL de la solución de HCl y el volumen se ajustó a 400 mL para las pruebas de degradabilidad.

Las pruebas de velocidad de liberación se dividieron en tres tratamientos: PnP (que involucró pectina cítrica sin protección), PwP y PwPL. Se prepararon diez réplicas de cada tratamiento utilizando 0,5 g de muestra en un tubo plástico de 50 mL. Posteriormente, se añadieron 25 mL de cada solución tampón (pH: 2, 3, 5, 7) a los tubos, que luego se colocaron en un frasco de vidrio en el digestor Daisy Ankom a una temperatura de 39 °C para simular las condiciones del rumen. Las muestras se agitaron continuamente. Después de 1 hora, se tomó una alícuota de 250 μ L de cada muestra y se colocó en un baño de hielo sobre una placa magnética para la digestión ácida. Luego, cada muestra se trató con 1 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) y se agitó magnéticamente durante 10 minutos. A continuación, se añadieron 500 μ L de agua destilada a cada muestra y se agitó durante 10 minutos. Este proceso se repitió añadiendo otros 500 μ L de agua destilada y agitando durante 20 minutos. Finalmente, las muestras se agitaron y se enfriaron con hielo durante 10 minutos antes de medir la concentración de ácidos urónicos.

Cuantificación de ácidos urónicos: Se colocó una alícuota de 0,1 mL de cada muestra en un baño de hielo y se añadió 1 mL de una solución al 0,5% de borato de sodio en H₂SO₄ concentrado. La mezcla resultante se agitó en un mezclador y se colocó en agua hirviendo (100 °C) durante 5 minutos. Luego, los tubos se enfriaron en hielo durante 5 minutos y se agregaron 20 μ L de m-fenilfenol al

0,15% en hidróxido de sodio al 0,5%. Después de agitar, los tubos se dejaron a temperatura ambiente (24 - 27 °C) durante 15 minutos. Después del período de reposo, las muestras se agitaron y se midió la absorbancia a 520 nm utilizando un espectrofotómetro. La concentración se calculó mediante una curva de calibración que oscilaba entre 0 y 40 μg de ácido D-galacturónico (Sigma All-drich). La pectina liberada en las partículas protegidas se determinó calculando el porcentaje de ácidos urónicos mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ácidos urónicos} = \left[\frac{(\mu\text{g})(\text{FD})}{\mu\text{g muestra}} \right] \times 100$$

Donde:

μg = valor de la concentración de ácido D-galacturónico en μg

FD= Factor de disolución= vol. total (10 mL) / vol. de la alícuota (0.1 mL) = 100

$\mu\text{g muestra}$ = peso de la muestra en μg = 5000

Fase 3: Se utilizaron tres toros Holstein con un peso vivo de 500 ± 50 kg, equipados con fístulas y cánulas ruminales. Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: a) PnP, b) PwP y c) PwPL, a dos tiempos de degradabilidad, 24 y 48 horas. Para cada tratamiento, se colocaron 20 gramos de muestra en una bolsa de tela tipo polyseda (nylon[®]) de 10 x 20 cm con un tamaño de poro de 115 μm . Posteriormente, estas bolsas se introdujeron al rumen a través de la cánula. Cada tratamiento contó con 5 réplicas y se utilizaron dos bolsas adicionales como blanco, dando como resultado un total de 34 bolsas para cada animal. Después de la incubación en el rumen, las bolsas se retiraron y se lavaron con agua corriente. Posteriormente, se secaron en una estufa a 50 °C durante 24 horas.

El porcentaje de degradabilidad de la pectina protegida se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Degradabilidad de la MS} = \left(\frac{\text{MS inicial (g)} - \text{MS residual (g)}}{\text{MS inicial (g)}} \right) \times 100$$

Donde:

Degradabilidad de la materia seca *in situ* = Degradabilidad de la materia seca *in situ* de PnP, PwP o PwPL

MS inicial y residual = Materia seca inicial y residual de PnP, PwP o PwPL

Donde:

Degradabilidad de la materia seca *in situ* = Degradabilidad de la materia seca *in situ* de PnP, PwP o PwPL

MS inicial y residual = Materia seca inicial y residual de PnP, PwP o PwPL

Fase 4: El diseño de este experimento se planteó con los resultados obtenidos en la fase 2 y 3. Los resultados sí muestran diferencias entre las dos técnicas de encapsulación de pectina. Sin embargo, se seleccionó PwPL para su uso en la unidad experimental animal. En consecuencia, se utilizaron 20 vacas para el experimento, las cuales fueron cruces entre cebú y suizo. Las vacas tenían un peso medio de 400 ± 50 kg y eran multíparas. Estaban en pastoreo extensivo y tenían acceso a pasto colochó (*Digitaria swazilandensis*) y agua ad libitum. Las vacas se dividieron aleatoriamente en dos grupos, con 10 animales en cada grupo. Los tratamientos administrados fueron los siguientes: NP, que no incluía pectina cítrica, y PwPL, que consistió en proporcionar 100 g de pectina cítrica protegida por animal por día. Las partículas de pectina se mezclaron con 250 g de

concentrado comercial y se ofrecieron a las vacas después del ordeño (7:00 am). El experimento duró un período de 45 días.

Ordeño y toma de muestra de leche: Las vacas fueron ordeñadas manualmente a las 7:00 am. Dos veces por semana, se recogió una muestra de 100 mL de leche por vaca en botellas plásticas de 120 mL y se almacenó a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. Previo al análisis, las muestras fueron descongeladas a temperatura ambiente y luego calentadas a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ utilizando un baño maría. Posteriormente, las muestras fueron transferidas a un matraz de 250 ml y homogeneizadas. Se tomó una porción de 15 mL de la muestra y se colocó en el portamuestras de un analizador de leche digital. Después de un tiempo de duración de 60 segundos, se registró el porcentaje de grasa, proteína, sólidos totales, lactosa y pH. El color de la leche se midió utilizando un colorímetro de precisión, que registró los valores de CIEL* (luminosidad), a^* (índice rojo), b^* (índice amarillo) y los valores del índice de saturación C (croma, C^*). El valor C^* se define por el ángulo entre a^* y b^* y se denota como $(a^2+b^2)^{1/2}$. Los grados Brix se cuantificaron utilizando un refractómetro.

Toma de muestras y análisis de sangre: Las muestras de sangre se recogieron el último día del experimento, 2 horas después de la alimentación, puncionando la vena coccígea con agujas y tubos de plástico de 6 mL que contenían heparina sódica. Posteriormente, se cuantificaron los metabolitos sanguíneos, incluyendo glucosa, colesterol, triglicéridos y lactato, utilizando un medidor portátil.

Análisis estadístico

Etapa 1: Las partículas de pectina cítrica fueron sometidas a

caracterización microscópica cualitativa. Los datos obtenidos del ensayo de liberación *in vitro*, que midió la liberación de pectina en forma de ácido D-galacturónico, fueron analizados mediante el procedimiento SAS GLM con un diseño completamente al azar. Las medias entre tratamientos fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Etapas 2: Los datos de degradación *in situ* de las partículas fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con el procedimiento PROC ANOVA de SAS. Las medias entre tratamientos fueron comparadas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los datos correspondientes a las características fisicoquímicas de los metabolitos de la leche y la sangre fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con dos tratamientos y diez repeticiones. La comparación entre tratamientos se realizó mediante la prueba t-Student ($p < 0,05$).

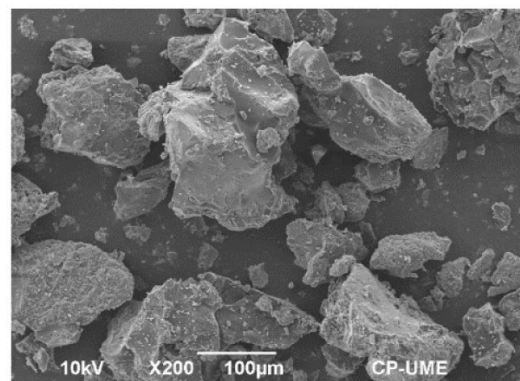
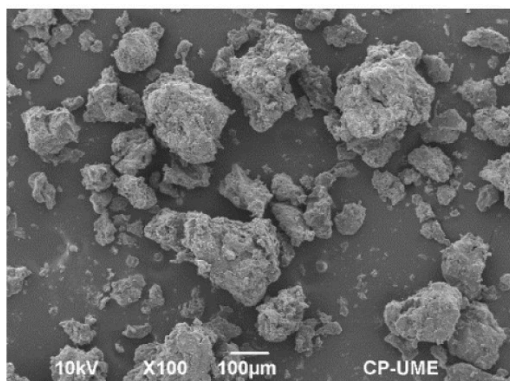
Resultados

Fase 1

Partículas de pectina recubiertas de biopolímeros. La figura 1 muestra la morfología de las PwP. Se observan partículas de diferentes formas y tamaños (desde 70 hasta $>300 \mu\text{m}$).

Figura 1.

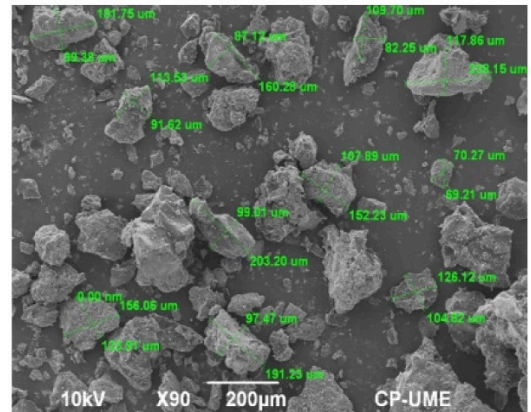
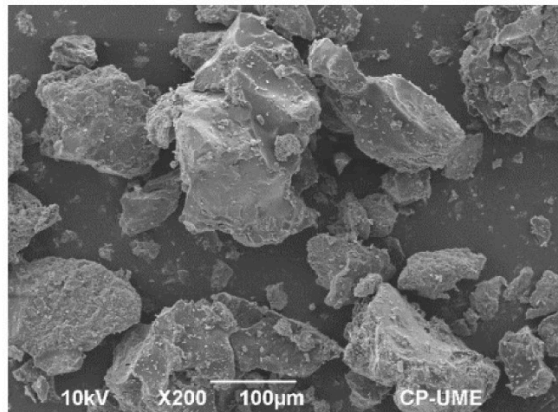
Micrografía (MEB) de partículas de pectina cítrica. Las micrografías (a, b) muestran partículas de forma irregular, con diferente tamaño y textura superficial de acuerdo con el tratamiento.



La Figura 2 muestra las partículas de pectina cítrica protegidas con aceite de palma y óxido de calcio, la forma y superficie de estas fueron similares a las partículas de pectina a las que se le proporcionó recubrimiento con goma laca por inmersión, con tamaños de 70 a 200 μm . La superficie de las partículas también presentó algunas manchas blancas, esta característica puede deberse a la acumulación de iones de calcio formando manchas blancas en la película de las partículas.

Figura 2.

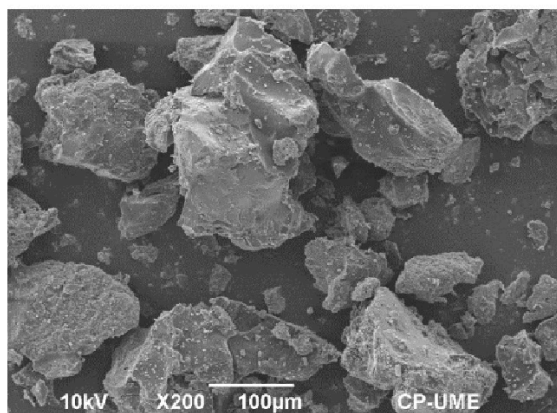
Micrografía (a, b) de partículas de pectina cítricas elaboradas con aceite de palma+ óxido de calcio.



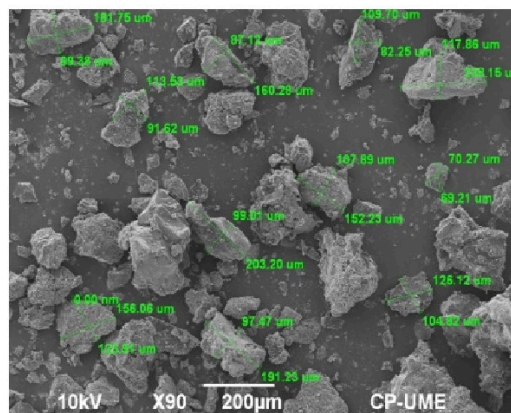
La figura 3 muestra la morfología de PwPL por inmersión. La superficie de las partículas estaba mejor compactada, lo que indica una buena funcionalidad de la película de goma laca.

Figura 3.

Micrografía (a, b) de partículas de pectina cítricas elaboradas con aceite de palma+ óxido de calcio + goma laca por inmersión.



(a)



(b)

Tasa de secreción de pectina evaluada a diferencias de pH: La liberación de ácido D-galacturónico (ácidos urónicos, μg) fue mayor a pH 3,0 en los tratamientos ($P < 0,05$). En las soluciones de pH 2, 5 y 7, los valores de ácido D-galacturónico se liberaron en baja cantidad. El PwPL tuvo mayor liberación de ácidos urónicos ($P < 0,01$) que el PwP (**Cuadro 1**).

Cuadro 1.

Liberación de pectina como ácido D-galacturónico (ácidos urónicos, g) a diferentes valores de pH.

pH	PnP	PwP	PwPL	EEM	P
2	99.685 ^a	18.961 ^c	21.979 ^b	1.0133	<0.001
3	99.535 ^a	23.380 ^c	27.581 ^b	1.2875	<0.001
5	97.337 ^a	14.451 ^c	18.408 ^b	1.5672	<0.001
7	92.816 ^a	8.163 ^c	13.311 ^b	1.6144	<0.001

EEM: Error estándar de la media.

PnP: Pectina cítrica sin protección; PwP: Pectina cítrica protegida con aceite de palma; PwPL: Pectina cítrica protegida con aceite de palma y goma laca.

Fase 2

Degradabilidad *in situ* de la pectina con dos técnicas de protección. El porcentaje de degradabilidad *in situ* de la pectina cítrica protegida con las dos técnicas evaluadas presentó diferencias ($P < 0,05$). La pectina cítrica desprotegida (PnP) se degradó en un 99% a las 24 y 48 horas, mientras que la PwP fue de 27,59% a las 24h y 29,23% a las 48h. La protección por inmersión con goma laca, PwPL, presentó una menor degradabilidad a las 24 y 48 h de incubación de 16,75% y 18,60%, respectivamente (**Cuadro 2**).

Cuadro 2.

Porcentajes de degradabilidad *in situ* en partículas de pectina protegida.

Tratamientos	Degradabilidad <i>in situ</i> , %	
	24 h	48 h
PnP	99.42 ^a	99.23 ^a
PwP	27.59 ^b	29.23 ^b
PwPL	16.75 ^b	18.60 ^b
EEM	6.24	6.08
P	0.0001	0.0001

EEM: Error estándar de la media

PnP: Pectina cítrica sin protección; PwP: Pectina cítrica protegida con aceite de palma; PwPL: Pectina cítrica protegida con aceite de palma y goma laca.

a, b, las medias con literales diferentes entre columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$).

Se realizó un ensayo *in vivo* con vacas lactantes en pastoreo, evaluándose algunos metabolitos sanguíneos y características fisicoquímicas de la leche.

Efecto del uso de pectina protegida sobre el perfil químico de la leche de vacas en pastoreo: El uso de pectina cítrica protegida en la alimentación de vacas lecheras incrementó ($P < 0.05$) el porcentaje de grasa en la leche (4.588 vs. 3.295%). Los sólidos totales aumentaron 17% con el uso de pectina protegida (8.2 vs. 6.96%). Los tratamientos no presentaron diferencias en contenido de proteína, densidad, grados brix y pH (**Cuadro 3**). La pectina cítrica protegida en la alimentación de vacas presentó un valor L^* similar en los dos tratamientos. El valor a^* (NP=-5.5418, PwPL =-2.9015) y el valor b^* (NP=7.5685, PwPL =2.8063) presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), mientras que el valor c^* no presentó diferencia significativa ($P > 0.05$) (**Cuadro 4**). La pectina cítrica

protegida en vacas lecheras disminuyó ($P < 0,05$) la concentración sanguínea de glucosa (NP = 56,80 vs. PwPL = 42,60 mg dL⁻¹), colesterol (NP = 167,10 vs. PwPL = 151,10 mg dL⁻¹) y lactato (NP = 3,13 vs. PwPL = 1,46 mg dL⁻¹). No hubo diferencias en los niveles de triglicéridos en sangre (**Cuadro 5**).

Cuadro 3.

Efecto de la pectina protegida sobre el perfil químico de la leche de vacas en pastoreo.

Tratamientos	Grasa (%)	Sólidos Totales (%)	Densidad (g/mL)	Proteína (%)	Lactosa (%)	grados brix	pH
NP	3.295 ^b	6.957 ^b	28.150	3.120	4.417	9.095	7.200
PwPL	4.588 ^a	8.200 ^a	31.002	3.210	4.860	8.647	7.297
EEM	0.379	0.409	1.098	0.104	0.166	0.295	0.034
<i>P</i> =	0.001	0.0033	0.0516	0.391	0.0094	0.1337	0.0064

EEM: Error estándar de la media. NP: Sin pectina cítrica en el suplemento. PwPL: Pectina cítrica protegida con aceite de palma y goma laca.

a, b, las medias con diferentes literales en las filas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$).

Cuadro 4.

Efecto del uso de pectina protegida sobre el color de la leche en vacas en pastoreo

Tratamientos	L	a	b	C
NP	80.5169	-5.5418 ^a	7.5685 ^a	81.0884
PwPL	80.1193	-2.9015 ^b	2.8063 ^b	80.2273
EEM	0.9972	0.1986	0.3275	0.9995
P =	0.6918	0.0001	0.0001	0.3916

EEM: Error estándar de la media. NP: Sin pectina cítrica en el suplemento. PwPL: Pectina cítrica protegida con aceite de palma y goma laca.

Área cromática L* = brillo (0 es negro y 100 es blanco); área cromática a*: rangos de enrojecimiento, (<) verde y (>) rojo; área cromática b*: rango de amarillez (>) corresponde a amarillo y (<) corresponde a azul; C*, el croma se define como $(a^2 + b^2)^{1/2}$.

Las medias a, b con diferentes literales en las columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$).

Cuadro 5.

Efecto del uso de pectina protegida sobre los metabolitos sanguíneos.

Tratamientos	Glucosa (mg/dL)	Colesterol (mg/dL)	Lactato (mmol/L)	triglicéridos (mmol/L)
NP	56.80 ^a	167.10 ^a	3.13 ^a	106.50
PwPL	42.60 ^b	151.10 ^b	1.46 ^b	103.90
EEM	4.68	1.06	0.24	1.57
P =	0.0071	0.0001	0.0001	0.1162

EEM: Error estándar de la media. NP: Sin pectina cítrica en el suplemento. PwPL: Pectina cítrica protegida con aceite de palma y goma laca.

a, b, las medias con diferentes literales en las columnas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$).

Discusión

La liberación lenta de partículas, elaboradas con polímeros, está

influenciada por varias características endógenas y exógenas. Estas características incluyen tamaño de partícula, morfología, porosidad, higroscopicidad, hidrofobicidad, tensión superficial y acción térmica (Choudhury *et al.*, 2021). Sin embargo, al diseñar partículas específicamente para su degradación en el tracto digestivo de rumiantes, es esencial centrarse en los factores que facilitan la liberación de fármacos o aditivos. En este caso, la sensibilidad al pH es la variable principal que influye en la degradación de partículas (Del Piano *et al.*, 2011), y se puede controlar a través del recubrimiento de polímeros. En nuestro estudio, las partículas de pectina protegidas con aceite de palma y goma laca (PwPL) demostraron un rendimiento satisfactorio, degradándose dentro del rango de pH de 3 a 5. Estudios similares han protegido con éxito otras sustancias, como *Lactobacillus plantarum* y ácidos grasos omega-3, utilizando alginato y pectina (López *et al.*, 2019), o empleando goma laca como material de recubrimiento en la producción de microcápsulas de resina de urea-formaldehído (Wang *et al.*, 2022).

El color de la leche está influenciado por varios factores extrínsecos e intrínsecos, siendo la dieta, la cantidad de glóbulos de grasa y el almacenamiento de pigmentos los que tienen un impacto significativo, el color sirve como un método eficaz de trazabilidad, permitiendo la determinación del sistema de alimentación de la vaca, y está asociado con la calidad de la leche (Prache, 2007). En nuestro estudio, las partículas de pectina protegidas disminuyeron el valor *b, que está asociado con el grado de coloración amarilla en la leche. Nuestros resultados indican que la pectina es un antagonista eficaz de los β -carotenos, evitando su absorción, acumulación en la glándula mamaria y posterior excreción en la leche (Cruz *et al.*, 2007). Los niveles de colesterol, glucosa y lactato encontrados en las vacas en este estudio coinciden con

investigaciones previas realizadas por nuestro grupo de investigación. El estudio indica que los niveles de colesterol hemático en terneros disminuyeron en un 15, 18 y 27% a medida que la dosis de pectina aumentó de 18,5 a 46,25 y 92,5 g/día.

Conclusión

El diseño de partículas protegidas con lípidos y polímeros es un método económico que resiste la degradación a niveles de pH superiores a 5. Las partículas diseñadas exhibieron formas irregulares, rugosas y porosas, siendo la morfología y la textura dependientes del polímero utilizado. Estas partículas protegidas fueron utilizadas de manera efectiva en rumiantes. Por ejemplo, la inclusión de 100 g de pectina por animal por día en el alimento de vacas lecheras en pastoreo resultó en una reducción de la coloración amarilla de la leche, y las características fisicoquímicas de la leche permanecieron inalteradas.

Bibliografía

Aguar., Z. E., Rojas., B. A., & Murillo., B. J. (2022). Efecto de la suplementación de β -caroteno en vacas lecheras sobre concentraciones en sangre y calostro, reproducción y salud de la ubre. *Nutrición Animal Tropical*, 16(1), 53-81.

Cerón, G. T., Bribiesca, J. E. R., Jiménez, L. M., Monterrosa, R. G. C., Mancera, H. A. Z., Galván, M. M. C., ... & Sánchez, D. H. 2019. Design of Pectin Microcapsules Protected with Shellac and Sodium Alginate with Sensibility of Degradation in Intestinal pH of Bovine. *REV.CHIM. (Bucharest)*. 70(12): 4233-4237.

Choudhury N, Meghwal M, & Das K. (2021) Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*. 2(4):426-442. Doi. 10.1002/fft2.94.

Cruz, M., R.G., Ramirez, B., J. E., Guerrero, L., M. I., y Zinn, R., A. (2015). Influence of Pectin on Intestinal Digestion of Chromogens in Steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* (207): 274-77. doi:org/10.1016/j.anifeedsci.2015.06.015

Del Piano, M., Carmagnola, S., Ballarè, M., Sartori, M., Orsello, M., Balzarini, M, Pagliarulo, M., Tali, R., Anderloni, A., Strozzi, G.P., Mogna, L., Sforza, F. & Capurso, L. (2011). Is Microencapsulation the Future of Probiotic Preparations. The Increased Efficacy of Gastro-Protected Probiotics. *Gut Microbes* 2(2): 120-23. doi.org/10.4161/gmic.2.2.15784.

Khlijji, S., van de Ven, R., Lamb, T. A., Lanza, M., y Hopkins, D. L. (2010). Relationship between consumer ranking of lamb colour and objective measures of colour. *Meat Sci.* 85(2): 224-229. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.01.002

López-Fernández, S. G., Michel, S. G. F., Corral, R. I. A., García-Galaz, A., Moreno-Rivas, S. C., Vázquez-Moreno, L., & Montfort, G. R. C. (2019). Caracterización del co-encapsulamiento de *Lactobacillus plantarum* y ácidos grasos omega-3 en una matriz de alginato-pectina. *Biocencia*, 21(2), 38-46.

NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Pp 107-165.

Pablos, P., E. (2005). Procedimiento de fabricación de jabones cálcicos para alimentación animal. Patente WO2007077266A1. Fecha de publicación: 12 de julio de 2007. Pp 1-18.

Peres, L. B., de Araújo, P. H. H., & Sayer, C. (2016). Solid lipid nanoparticles for encapsulation of hydrophilic drugs by an organic solvent free double emulsion technique. *Colloids Surf. B.* (140): 317-323. doi: 10.1016/j.colsurfb.2015.12.033.

Prache S. (2007). Developing a diet authentication system from the composition of milk and meat in sheep: a review. *J Agri Sci.* 145: 435-444. Doi 10.1017/S0021859607007174

Wang, L., Han, Y., & Yan, X. (2022). Effects of adding methods of fluorane microcapsules and shellac resin microcapsules on the preparation and properties of bifunctional waterborne coatings for basswood. *Polymers*, 14(18), 3919.

Protocolo alternativo no hormonal de sincronización de estros para ganaderías bovinas evaluado por biología molecular

Resumen

La productividad bovina está basada en su eficiencia reproductiva por lo que existen un gran número de protocolos hormonales de sincronización de la ovulación, sin embargo, existe una tendencia a nivel mundial de reducir el uso de hormonas en los sistemas de producción y actualmente no existen protocolos de sincronización que no se basen en hormonas. El objetivo de este estudio fue implementar un protocolo alternativo no hormonal de sincronización de estros evaluado por biología molecular. La investigación se realizó en una unidad de producción pecuaria ubicada en la zona norte de Veracruz. Se utilizaron 12 novillonas mestizas (*Bos indicus x Bos taurus*) de 24.0 ± 3.0 meses de edad y un peso de 324.0 ± 15.0 kg. Las novillonas fueron sincronizadas utilizando el protocolo ovsynch. Doce días después del estro se conformaron aleatoriamente tres grupos: 1) Control (n=4), no se manipularon reproductivamente, 2) Control (n=4) con diagnóstico (ultrasonografía) de cuerpo lúteo (CL) y 3) Diagnóstico con ultrasonografía de CL y tratamiento de masaje uterino por dos minutos (n=4). Se tomaron muestras de sangre antes y después del procedimiento para la extracción de material genético (DNA RNAm) y determinar por PCR la expresión de genes de $PGF2\alpha$ y

oxitocina. La detección de celos se realizó AM y PM durante 5 días. El 50% (2/4) de las novillonas que recibieron masaje uterino mostraron estro, del grupo 2, el 25% presentó celo y del grupo 1 (control) ninguna novillona presentó celo. El diagnóstico molecular indicó que el masaje uterino por dos minutos provocó la expresión de los genes de prostaglandina $F2\alpha$ y de oxitocina. En conclusión, el masaje uterino por dos minutos estimuló la actividad de genes para producir prostaglandina- $F2\alpha$ y oxitocina y se plantea como protocolo alternativo no hormonal de sincronización de estros. No obstante, es necesario realizar más estudios para determinar el número, ocurrencia, periodicidad y temporalidad de manipulación uterina para mejorar la manifestación de celos.

Palabras clave: PGF 2α , Oxitocina, masaje uterino, expresión genética, cuerpo lúteo.

Introducción

Un fenómeno que ha tomado fuerza en los últimos años es el incremento en la demanda de productos de origen orgánico y/o sustentable, lo cual ha impactado favorablemente en un crecimiento en el número de hatos lecheros orgánicos certificados (Sorge *et al.*, 2016). Para obtener la certificación de productos orgánicos deben cumplirse algunas normas como: 1) Los animales mayores de seis meses de edad necesitan consumir por lo menos el 30% de materia seca del potrero y pastorear un mínimo de 120 días del año, 2) Está prohibido el uso de antibióticos y de todas las hormonas excepto oxitocina que permite su uso en vacas con patologías posparto (Sorge *et al.*, 2016). Esta última norma genera un serio problema para el manejo reproductivo de estos hatos, ya que no pueden utilizar protocolos de sincronización de la ovulación y el manejo reproductivo se tiene que basar en detección de celos

que desafortunadamente tienen bajos porcentajes; una alternativa es mantener monta continua todo el año. La falta de protocolos hormonales en estos hatos orgánicos dificulta obtener buenos parámetros reproductivos. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue implementar un protocolo alternativo no hormonal de sincronización de estros para ganaderías bovinas orgánicas y/o sustentables evaluado por biología molecular

Material y Métodos

El estudio se realizó en una unidad de producción pecuaria ubicada en el municipio de Cazes, Veracruz. Durante el año la temperatura oscila de 18 a 32 °C, y una precipitación anual entre 1400 y 1600 mm.

Para el estudio se utilizaron 12 novillonas (*Bos taurus x Bos indicus*) manejadas en un sistema de rotación intensiva de pastos tropicales: brizanta (*Brachiaria brizantha*) y estrella de África (*Cynodon plectostachyus*). Además, se le proporcionaron sales minerales y agua fresca a libre acceso. Las novillonas seleccionadas para el estudio fueron diagnosticadas con un cuerpo lúteo (mediante ultrasonografía) garantizando que habían alcanzado la pubertad, tenían una edad de 24.0 ± 2.0 meses, un peso de 323.9 ± 19.0 Kg y una condición corporal de 3.83 ± 0.17 (escala de 1 – 5, de acuerdo a Ferguson et al., 1994).

Inicialmente las novillonas recibieron un protocolo de inducción de la ovulación a tiempo fijo (Purslaey et al., 1995) y en el día 12 del ciclo estral las novillonas fueron asignadas aleatoriamente a uno de los siguientes tratamientos: 1) Grupo control sin diagnóstico de cuerpo lúteo (CL, n = 4): a estas novillonas no se les realizó

ultrasonografía para determinar la presencia de CL para no inducir liberación de hormonas por manipulación, 2) Grupo con diagnóstico de cuerpo lúteo (N = 4): a estas novillonas se les realizó ultrasonografía para determinar la presencia de CL y 3) Grupo tratado (n = 4): en el cuál se realizó primeramente ultrasonografía para determinar la presencia de CL seguido de un masaje uterino por dos minutos.

Se colectaron muestras de sangre periférica directamente del plexo sanguíneo de la base de la cola en tubos vacutainer de todas las novillonas para determinar la activación de genes de prostaglandina F2 α y oxitocina. Las muestras se tomaron de la siguiente manera: la primera muestra de sangre se tomó cuando los animales entraron a la manga de trabajo y antes de realizar cualquier diagnóstico reproductivo o masaje uterino. Las siguientes muestras de sangre fueron tomadas cada 30 minutos hasta completar 240 minutos después de iniciado el muestreo.

Para obtener las expresiones hormonales se realizó la extracción de ARN mediante el protocolo de extracción con una mezcla de tiocianato de guanidina y fenol monofásico (Mirando-Ortiz *et al.*, 2021) a partir de muestras de sangre total. Se logró identificar la calidad del material genético mediante la amplificación de un segmento parcial de ≈ 620 de la citocromo oxidasa subunidad 1 (COI), lo que indicó la suficiente carga de material genético para procesar PGF2 α y oxitocina.

No se utilizó un método tradicional midiendo las concentraciones en sangre del metabolito de la PGF2 α (13,14-dihidro-15-ceto-prostaglandina F2 α ; PGFM) si no que se utilizó otro método para identificar la expresión genética codificada para la hormona PGF2 α y oxitocina, es decir se determinó la activación de los genes de

estas dos hormonas. Para ello en este estudio se implementó el uso de biología molecular mediante la extracción de ARN posteriormente convertido a ADNc para observar la actividad genética de la codificación de el gen codificador de $PGF2\alpha$. Se trabajó con primer ptge2s y ptge3s para observar la expresión genética.

Después del procedimiento se pintó con crayón para ganado la región sacro-coccígea como auxiliar en la detección de celos que se realizó AM y PM por periodos de 30 minutos durante cinco días.

Resultados

El masaje uterino tuvo un efecto en la activación del gen codificador de $PGF2\alpha$. Se observó un incremento en la actividad a los 60 minutos después del estímulo uterino y se mantuvo la actividad de la expresión genética hasta el minuto 180 (2 horas), posteriormente, en el minuto 240 disminuyó esta expresión del gen (Imagen 1), sin embargo, en los grupos control con y sin diagnóstico de cuerpo lúteo se alcanzó a apreciar una baja activación del gen en el minuto 120. Es importante resaltar que el masaje uterino por dos minutos fue capaz de estimular la activación del gen codificador para la liberación de la prostaglandina $F2\alpha$ (**Imagen 1**).

Se inició un incremento en la actividad del gen codificador de oxitocina 60 minutos después de iniciado el masaje uterino, pero del minuto 120 hasta 240 la actividad se mantuvo muy pronunciada (tres horas; Imagen 2). Sin embargo, en los grupos control con y sin diagnóstico de cuerpo lúteo se manifestó poca actividad del gen codificador de oxitocina desde los 150 a los 240 minutos (**Imagen**

2).

Figura 1.

Comparación representativa de electroforesis en geles de agarosa del transcrito de Prostaglandina F2a en grupo control con y sin diagnóstico de cuerpo lúteo y grupo tratado con masaje uterino por dos minutos.

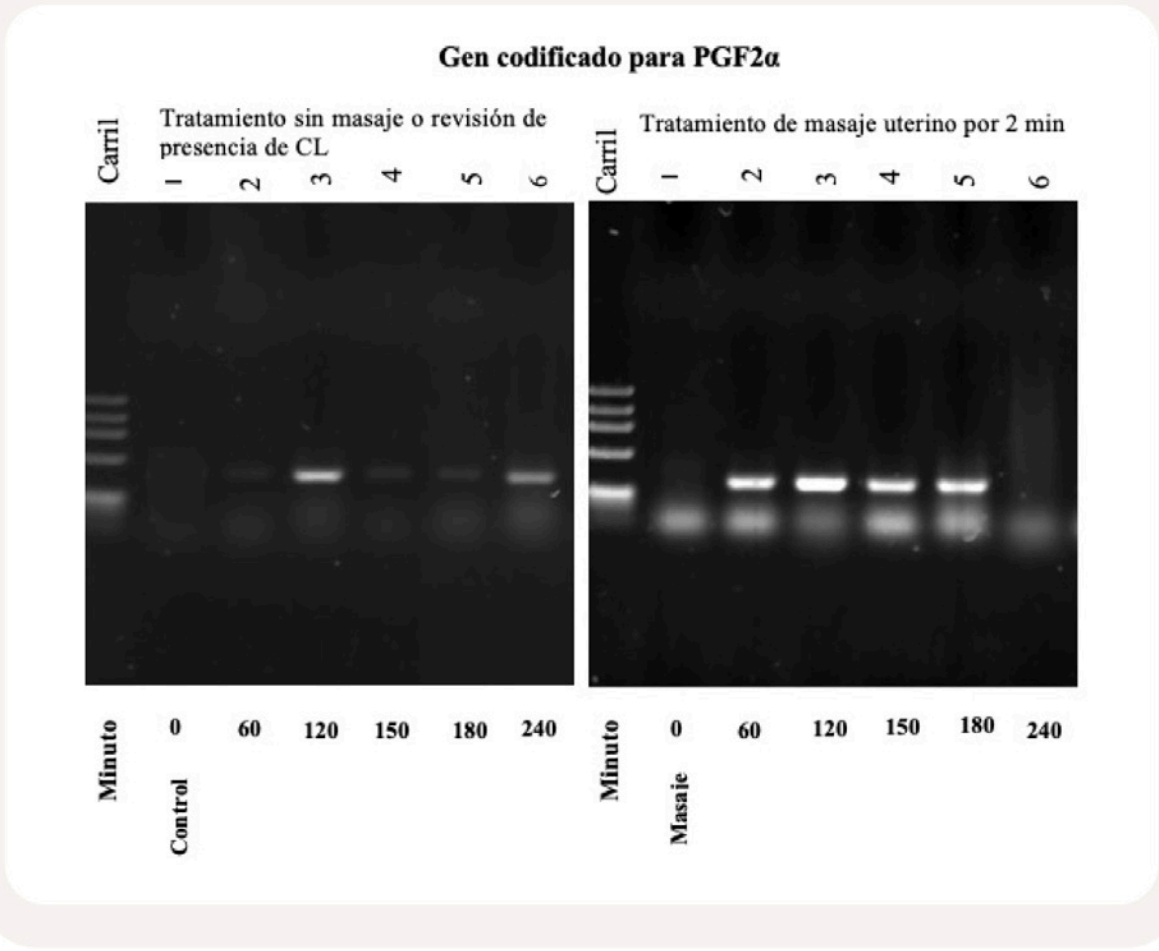
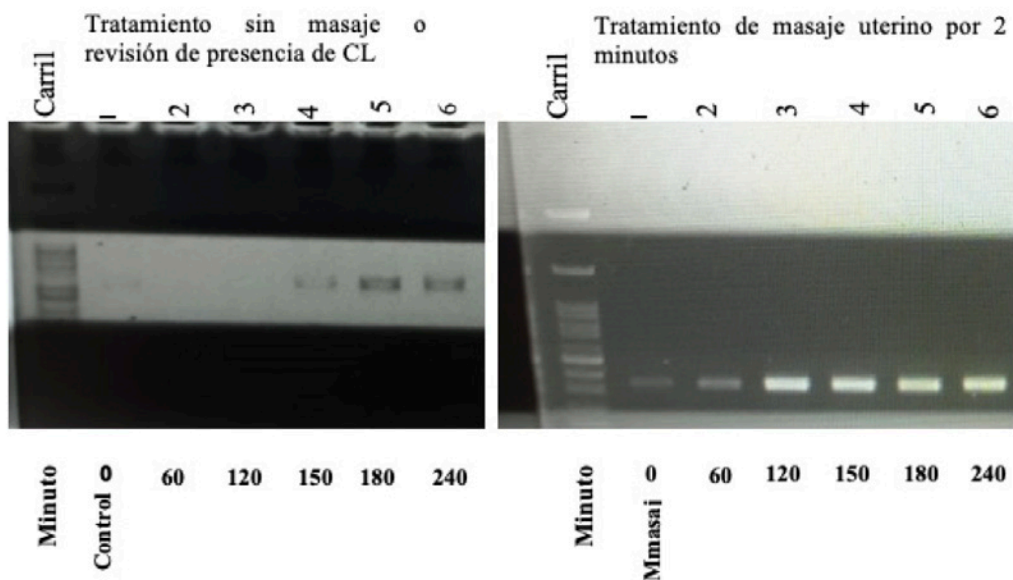


Figura 2.

Comparación representativa de electroforesis en geles de agarosa del transcrito de oxitocina en grupo control y control negativo con el grupo uno de manipulación uterina.



Se diagnosticaron en estro dos de las cuatro (50%) novillonas del grupo de masaje uterino, una de las cuatro (25%) del grupo control con diagnóstico de cuerpo lúteo mediante ultrasonografía y ninguna (0%) del grupo control sin diagnóstico de cuerpo lúteo. Estadísticamente no hubo diferencias ($P \geq 0.05$) pero esto pudo ser por la n del estudio.

Discusión

El masaje uterino por dos minutos fue suficiente tiempo para estimular la activación del gen codificador de PGF2 α . Las novillonas que recibieron el masaje uterino tuvieron un incremento

en la actividad del gen codificador de $\text{PGF2}\alpha$ por dos horas aproximadamente. Otros estudios (Velez *et al.*, 1990; Tolleson y Randel, 1987) demostraron que el masaje uterino fue capaz de aumentar las concentraciones de $\text{PGF2}\alpha$ que fue medida por medio del metabolito de está que es el 13,14-dihidro-15-ceto-prostaglandina $\text{F2}\alpha$ (PGFM) debido a que este metabolito es más estable que la hormona y se puede obtener de sangre periférica.

En relación al gen codificador de oxitocina también se activó por el masaje uterino, solo que este gen tuvo una activación por un tiempo más prolongado, de casi tres horas. No existen estudios similares para poder realizar una comparación entre resultados; sin embargo, se puede mencionar que en el proceso de regresión del cuerpo lúteo existe un mecanismo de retroalimentación entre las hormonas $\text{PGF2}\alpha$ y oxitocina, este modelo fue demostrado por McCracken *et al.*, en 1991.

Entonces es posible que el masaje uterino activará las células del endometrio para secretar $\text{PGF2}\alpha$ y está al actuar en su tejido blanco que es el cuerpo lúteo (células luteales grandes) activará el gen codificador de oxitocina como parte del proceso natural de retroalimentación durante la luteólisis. Es importante mencionar que durante el proceso de regresión del cuerpo lúteo este mecanismo de retroalimentación se da de manera pulsátil y requieren de varios pulsos para que su regresión sea exitosa (McCracken *et al.*, 1991).

La inducción de celos por masaje uterino solo tuvo el 50% de éxito a pesar de que se activaron los genes codificadores de $\text{PGF2}\alpha$ y oxitocina, en el grupo control con diagnóstico de cuerpo lúteo por ultrasonografía se presentó el 25% de celos y en el grupo control sin diagnóstico no se presentaron animales en estro. La explicación

de que solo el 50% de los animales hayan manifestado celo puede decirse que tal vez se necesita uno o dos masajes uterinos más para incrementar el número de pulsos liberadores de oxitocina y $\text{PGF2}\alpha$ y que la regresión del cuerpo lúteo sea exitosa sin la utilización de hormonas. En este momento se desconoce el número, ocurrencia, periodicidad y temporalidad de masajes uterinos para mejorar la manifestación sincronizada de celos con esta herramienta.

Es difícil comparar con otros estudios debido a que la mayoría de los estudios realizados sobre este tema se enfocaron en los beneficios del masaje uterino en mejorar la fertilidad días o semanas después de estímulo y no en estudiar la posibilidad de una inducción de regresión del cuerpo lúteo y un estro sincronizado.

Adicionalmente, el intervalo entre pulsos de $\text{PGF2}\alpha$ está determinado por la pérdida de la sensibilidad del endometrio a la oxitocina y por el tiempo que tarda en recuperarla y por ello el ciclo se interrumpe. El periodo de tiempo para que el endometrio recupere la sensibilidad a la oxitocina es de aproximadamente 6 horas; por este motivo, los pulsos de $\text{PGF2}\alpha$ se presentan con un intervalo de 6 a 8 horas. La secreción pulsátil de $\text{PGF2}\alpha$ continúa hasta que se completa la regresión del cuerpo lúteo y se necesitan de 5 a 6 pulsos para que sea exitosa la regresión del cuerpo lúteo.

Conclusión

Estos resultados son muy alentadores debido a que el masaje uterino se podría utilizar como protocolo alternativo sin el uso de hormonas en la sincronización de estros en las ganaderías orgánicas y/o sustentables. Sin embargo, es necesario realizar más estudios para determinar el número, ocurrencia, periodicidad y temporalidad

de masajes uterinos para mejorar la manifestación de celos.

Este estudio se puede considerar muy innovador por dos razones: 1) Es el primer reporte que implementa el masaje uterino como herramienta reproductiva simple, económica y amigable con el ecosistema y los animales, utilizada hace más de 20 años ahora con un enfoque novedoso al proponerse como un protocolo alternativo en la sincronización de estros en ganaderías amigables al ecosistema y 2) el desarrollo e implementación de la biología molecular a nivel sanguíneo como alternativa cualitativa ante la serología convencional para cuantificar los niveles hormonales en un protocolo reproductivo alternativo.

Bibliografía

Ferguson, J.D., Galligan, D.T. y Thomsen, N. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77:2695–2703.

McCracken, J.A., Schramm, W. y Okulicz, W.C. 1984. Hormone receptor control of pulsatile secretion of PGF-2Alfa from the ovine uterus during luteolysis and its abrogation in early pregnancy. *Anim. Reprod. Sci.* 7:31-55.

Miranda-Ortiz, H., Fernández-Figueroa, E. A., Ruíz-García, E. B., Muñoz-Rivas, A., Méndez-Pérez, A., Méndez-Galván, J., Astudillo-de la Vega, H., Gabiño-López, B., Nava-Monroy, R., López-Flores A la Torre, A., López-Vergara Anaya, T., Vilar-Compte, D., Coquis-Navarrete, U., Valdés-Reyes, M., Sánchez-Montes, S., & Becker, I. (2021). Development of an alternative saliva test for diagnosis of SARS-CoV-2 using TRIzol: Adapting to countries with lower incomes looking for a large-scale detection program. *PloS one*, 16(8), e0255807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255807>

Sorge, U.S., Moon, R., Wolff, L.J., Michels, L., Schroth, S., Kelton, D.F. y Heins, B. 2016. Management practices on organic and conventional dairy herds in Minnesota. *J. Dairy Sci.* 99:3183–3192.

Tolleson D, R. y Randel, R.D. 1988. Effects of alfaprostol and uterine manipulation on postpartum interval and pregnancy rate to embryo transfer in Brahman influenced beef cows. *Theriogenology* 29:555-560.

Velez, J.S., Randel, R.D. y Neuendorff, D.A. 1991. Effect of uterine manipulation on postpartum fertility and plasma 13, 14 – dihydro – 15 keto – prostaglandin F_{2α} in Brahman cows and first-calf heifers. *Theriogenology* 36 (6):987-998.

Sistematización de la gestión del sistema vaca-cría mediante una aplicación móvil: Optimización productiva en pequeños productores de Puebla

María Eugenia Carreón Romero^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

RESUMEN

Los productores de becerros de la región de Hueytamalco, Puebla, se caracterizan por el compromiso y experiencia en el ramo, así como el dominio de conocimiento práctico; sin embargo, existe la necesidad de una herramienta que facilite la gestión de datos durante el proceso de producción. En este estudio se plantea como solución una aplicación móvil enfocada a optimizar la gestión de datos de diferentes actividades llevadas a cabo durante el sistema de producción vaca-cría a través del seguimiento y monitoreo para el envío de notificaciones.

La metodología del estudio implicó realizar entrevistas, observación, análisis de brecha digital y el desarrollo de la aplicación utilizando el modelo Scrum. La implementación de esta solución tecnológica resultó ser funcional y eficiente para los

ganaderos, al mejorar el control y gestión de información con un alto grado de aceptación.

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario representa uno de los elementos de mayor crecimiento económico en México, reconociéndolo como parte de los factores estratégicos en el desarrollo del país. Es necesario buscar alternativas de solución para los desafíos que surgen a causa del creciente avance científico y tecnológico, y estar a la vanguardia en materia de calidad, sanidad e inocuidad de los productos pecuarios. En este sentido, es importante promover alianzas estratégicas de investigación en el sector agropecuario a fin de generar y transferir tecnologías en congruencia con las necesidades de crecimiento y desarrollo, de tal forma que se impulse la competitividad nacional (Congreso del Estado de Puebla, 2020).

El sector ganadero presenta entre sus opciones de negocio la cría de becerros, fase inicial de la producción que abarca desde el periodo de preñez de la vaca hasta el destete del becerro (Loya Gallegos & Herrera Durán, 2019). En México la producción de becerros en dicho sector es de suma importancia por razones que van desde los aspectos económicos hasta los sociales; siendo esencial no solo para la industria ganadera, sino también para la economía, el empleo, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad del país (Hernández, 2023).

Es claro que el principal reto de las unidades de producción del sistema vaca- cría en México es mejorar la eficiencia de los parámetros técnicos (Callejas & Callejas, 2022). Actualmente, la

tecnología desempeña un papel fundamental en la mejora de la producción y la calidad del ganado (Gonzalez Tena, 2021); donde la producción eficiente de becerros en la ganadería requiere optimizar la gestión de información de actividades como: identificación de cada bovino, control de enfermedades, seguimiento en dietas, monitoreo del estado corporal, así como el seguimiento preciso de cada vaca y/o becerro (Pecuarios.com, 2022).

Actualmente un gran porcentaje de pequeños productores del sector ganadero, presentan limitaciones para la adopción de herramientas tecnológicas para gestionar eficientemente sus sistemas de producción, debido entre otros factores al desconocimiento de uso, así como también, a la insuficiencia de recursos para su implementación (Obregón, Ortiz & Cuellar, 2021).

Investigaciones recientes han confirmado la carencia e incluso ausencia de herramientas tecnológicas en el sector ganadero, sobre todo en pequeños productores. De esta forma, los productores reconocen la importancia de aplicar herramientas tecnológicas para la mejora de los procesos de gestión de información (Obregón Perdomo, Ortiz Meneses, & Cuellar Medina, 2022).

PROBLEMA

Los productores de becerros de la Asociación Ganadera de la región de Hueytamalco, Puebla, constituyen una agrupación conformada mayoritariamente por pequeños productores. Si bien se caracterizan por su amplia experiencia en el ramo y la aplicación de técnicas y prácticas tradicionales funcionales, se observa una deficiencia en la administración de la información. Específicamente, carecen de

herramientas que permitan gestionar oportunamente el control de actividades. Esta situación se debe, en algunos casos, al

desconocimiento de las opciones tecnológicas y, en otros, a la reticencia a modificar sus métodos de administración, lo que se traduce en una resistencia a la adopción de herramientas de software. A pesar de esta resistencia, el proceso de producción de becerros exige el manejo preciso de fechas de control, la notificación oportuna de actividades y la organización sistemática de la información para su revisión y consulta.

La gestión eficiente para el control de la producción de becerros es por tanto, una necesidad. La falta de una gestión eficiente de la información relacionada con el seguimiento y monitoreo sistematizado de variables relacionadas con el crecimiento y desarrollo de bovinos (fechas incorrectas de destete y/o vacunación, falta de seguimiento y/o mala dosificación de los medicamentos aplicados) puede ocasionar problemas significativos en la calidad y salud del ganado.

Justificación

Bajo este panorama de requerimientos operativos y la necesidad de superar las deficiencias de gestión, se evidencia la necesidad de una intervención tecnológica. La competitividad contemporánea en el sector pecuario impone la adopción ineludible de tecnologías innovadoras orientadas a potenciar la eficiencia operativa. En este contexto, las tecnologías de la información proveen soluciones de software que resultan fundamentales para la sistematización del control y el monitoreo de datos.

Específicamente, la generación de notificaciones oportunas durante el ciclo de producción de becerros posibilita el acceso a información precisa, actualizada y de fácil interpretación. Esta disponibilidad de datos se convierte en el insumo esencial para la toma de decisiones estratégicas en beneficio de la unidad de producción.

En consecuencia, el registro eficiente de parámetros críticos-tales como: fechas de monta, nacimientos, tasas de mortalidad y calendarios de aplicación de medicamentos- permite un control exhaustivo del estado individual de cada bovino.

De este modo, la implementación de un sistema de software para el control y la notificación trasciende la necesidad operativa, constituyéndose como una estrategia clave para asegurar el éxito a largo plazo en el ámbito ganadero.

ANTECEDENTES

Los retos de la globalización económica y las nuevas políticas de comercialización que caracterizan al escenario mundial, demandan la adecuación de las estrategias de desarrollo de los sectores productivos (Salazar & Llinás, 2023).

En este contexto, se requiere que el sector agropecuario evolucione a fin de mejorar su productividad y rentabilidad en los ámbitos nacional e internacional. En este proceso de cambios, las estructuras económicas y de mercados tienen el reto de ser competitivo en la producción, industrialización y comercialización de los diferentes productos agropecuarios, lo que requiere de un

sector productivo dinámico y actualizado tecnológicamente (Reinoso et al., 2023).

La ganadería en México es una de las actividades pecuarias más importantes, al ocupar aproximadamente el 55% del territorio nacional. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022), el país alberga un hato de más de 33 millones de bovinos destinados a la producción de carne y leche, lo que lo posiciona como el séptimo productor mundial en comercialización de carne de bovino.

En el ámbito nacional los sistemas de producción de carne de bovino a nivel nacional varían entre las diversas regiones del país en función de la disponibilidad de recursos como forrajes y agua; esta heterogeneidad ha provocado la división de la producción pecuaria en tres fases específicas: la cría, preengorda y finalización. La cría de becerros es la fase inicial de la producción ganadera y atiende fundamentalmente dos mercados: la exportación de ganado en pie a los Estados Unidos, y la producción de becerros para el mercado nacional que se da principalmente en los estados del sur y sureste del país. Esta etapa va desde el periodo de preñez de la vaca hasta el destete del becerro (Callejas-Juárez, 2024).

En México, el sistema de producción vaca-cría consiste en la producción de becerros al destete para la engorda en sistemas estabulados, semiestabulados o en pradera (Garay-Martínez et al., 2024).

La creciente demanda de productos alimenticios de origen animal ha generado un aumento en la cría de ganado bovino. De acuerdo con las Perspectivas Agrícolas 2024-2033 de la OCDE y la FAO, la

producción mundial de carne se proyecta que crezca un 12% en la próxima década, alcanzando las 388 millones de toneladas para 2033. Este aumento estará impulsado principalmente por un mayor incremento en la producción de aves y carne de cerdo, y en menor medida, la de vacuno y ovino (OCDE/FAO, 2024)

A pesar de la relevancia económica y productiva del sector, la ganadería tradicional en México, especialmente en el

segmento de pequeños productores, enfrenta un rezago significativo en la adopción de tecnologías de la información (González, 2024). Este fenómeno se manifiesta en la persistencia de registros manuales y la consecuente dificultad para la trazabilidad y la toma de decisiones basada en datos (CONSOCPEC, 2023).

Por ello, la tendencia global hacia la implementación de soluciones móviles se presenta como el camino ineludible para garantizar la competitividad y la sostenibilidad del sector en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial (Santillán, 2022).

OBJETIVOS

Este trabajo de investigación tiene como objetivo proponer y validar una herramienta tecnológica móvil que, mediante la sistematización del monitoreo y análisis de variables clave del sistema vaca-cría, permita la toma de decisiones oportuna para optimizar la gestión productiva y la rentabilidad de los pequeños productores de la región de Hueytamalco, Puebla.

Objetivos Específicos

Diagnosticar el proceso de gestión actual del sistema vaca-cría para identificar las variables críticas y los parámetros de control que requieren sistematización.

Analizar las variables críticas del proceso productivo para establecer los requerimientos funcionales y no funcionales que permitan la automatización de la gestión de la información.

Diseñar la arquitectura y la interfaz de la aplicación móvil (prototipo) para el seguimiento y monitoreo de las hembras

bovinas y becerros, alineada con los principios de usabilidad y los requerimientos del usuario.

Desarrollar la aplicación móvil funcional para el control y monitoreo de la producción de becerros, integrando las notificaciones oportunas para la toma de decisiones.

METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo cuantitativo con enfoque tecnológico con un estudio transversal y alcance descriptivo, realizado a una población conformada por miembros de la asociación ganadera de la región de Hueytamalco, Puebla. Algunas de las herramientas utilizadas para la recolección de datos fueron: la entrevista, la observación, la bitácora y formatos de casos de uso.

Con respecto a la solución tecnológica, la implementación requirió, un análisis detallado de las necesidades y habilidades tecnológicas de los productores ganaderos, además, del uso de técnicas, metodologías y herramientas de software para desarrollar el prototipo del software planteado en el estudio.

La entrevista se aplicó a ganaderos de la región de Hueytamalco dedicados al sistema vaca-cría, con la finalidad de conocer técnicas y procedimientos para el cuidado de bovinos.

La observación fue fundamental para detallar las actividades realizadas, mientras, la bitácora se utilizó para garantizar la trazabilidad y la fiabilidad del proceso de recopilación y análisis de datos. Específicamente, sirvió para la documentación y control de versiones de los artefactos generados durante la ingeniería del *software*, tales como los documentos de especificación (casos de uso, diagramas de secuencia), el diseño de la base de datos y el prototipo de la interfaz.

Los casos de uso constituyeron documentos fundamentales en el proceso de desarrollo del *software*, ya que en ellos se modelaron los flujos de interacción y las secuencias de eventos que representan las actividades clave del sistema vaca-cría.

La Metodología de desarrollo del software aplicada fue el modelo Scrum debido a su versatilidad para generar versiones funcionales del producto con una estructura organizada y una óptima gestión de proyectos. Mientras la metodología de diseño utilizada fue UML, debido a la eficiencia para modelar sistemas de software.

A continuación se describe paso a paso el orden de ejecución de cada etapa del proceso metodológico.

Lugar : Región de Hueytamalco Puebla (Finca Oro Verde).

Actividades planeadas

- Conocer a detalle el proceso de control de producción de becerros de los ranchos ganaderos de pequeños productores de la localidad de Hueytamalco Puebla.
- Identificar y analizar las variables que intervienen en el seguimiento y monitoreo de vacas y becerros.
- Realizar un análisis de brecha digital a los pequeños productores de becerros de Hueytamalco.
- Definir requerimientos de la aplicación a desarrollar.
- Desarrollar la aplicación utilizando metodología de desarrollo Scrum.
- Implementar software y capacitar a usuarios.
- Medir eficiencia y funcionalidad.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

1. Uno de los puntos iniciales del estudio fue conocer a detalle el proceso de control y seguimiento de vacas y becerros realizado por productores dedicados al sistema vaca-cría de pequeños ranchos ubicados en la localidad de Hueytamalco. Dicha actividad implicó visitar y entrevistar a productores, ver figura 1.

Figura 1.

Entrevista con productor para conocer las actividades relacionadas con sistema vaca-cría.



2. Como siguiente punto se realizó la identificación de las variables y parámetros que intervienen en el seguimiento y monitoreo de vacas y becerros; datos necesarios para diseñar los flujos de control del proceso.

Figura 2.

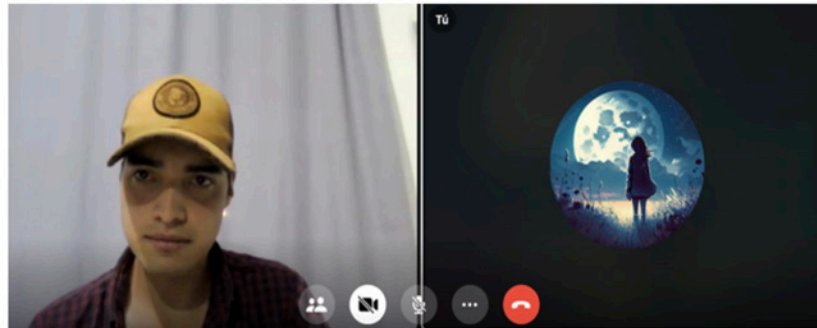
Entrevistas y observación de campo.



3. En tercer lugar se llevó a cabo un estudio de brecha digital a la población de estudio-productores ganaderos de la región de Hueytamalco Puebla- y diseñar una propuesta de software adecuada a las necesidades y características de los usuarios, bajo un esquema de factores UX (Experiencia de Usuario). Información obtenida al entrevistar a productores ganaderos, ver Figura 3.

Figura 3.

Entrevistas en línea con productores ganaderos.



4. El siguiente paso fue definir los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, así como el diseño de la aplicación móvil con elementos UX. Durante las sesiones se logró obtener un total de 15 casos de uso, relacionados con el seguimiento y control de bovinos. Posterior a ello se realizó el registro de información en diagramas UML, ver figuras 4, 5 y 6.

Figura 4.

Entrevista realizada por equipo de desarrollo de la aplicación.

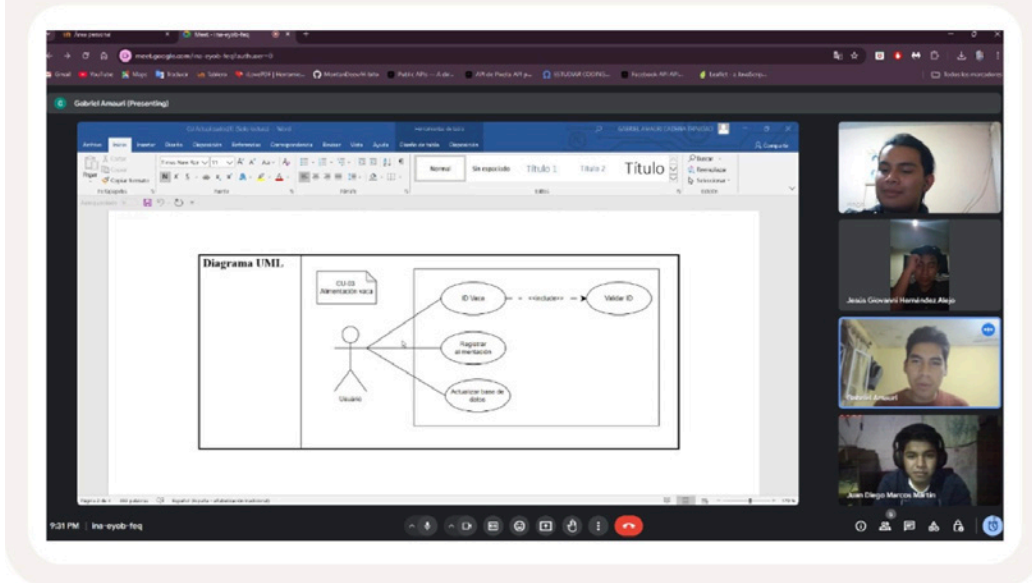


Figura 5.

Flujo Básico del Caso de Uso "Cuidado de Vacas en Gestación"

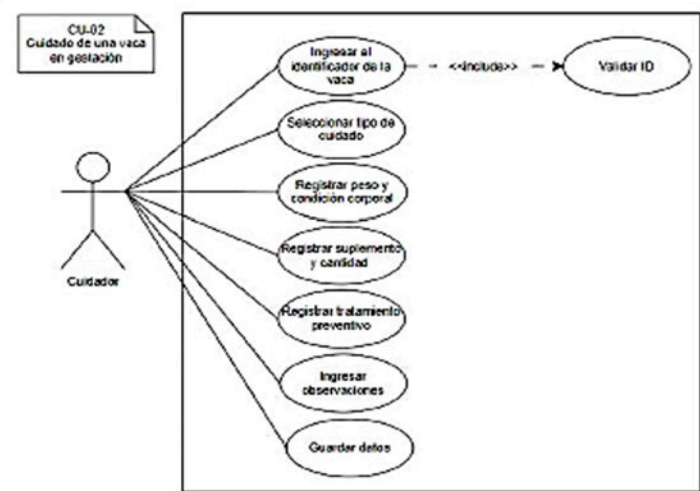
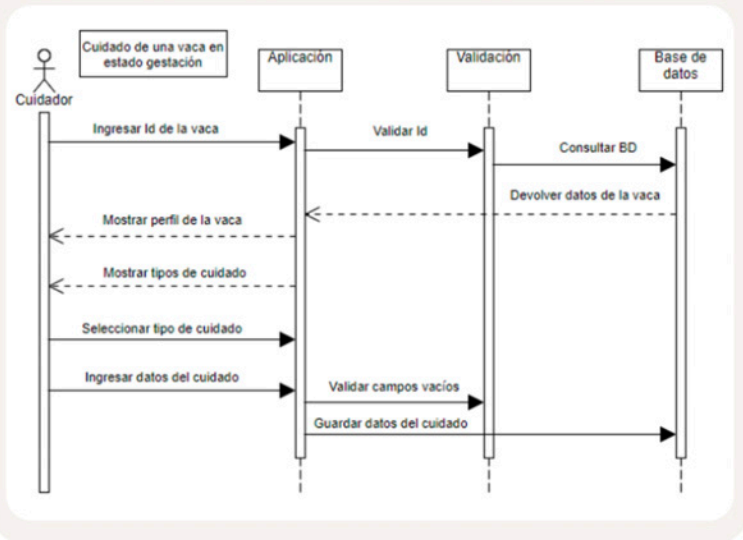


Figura 6.

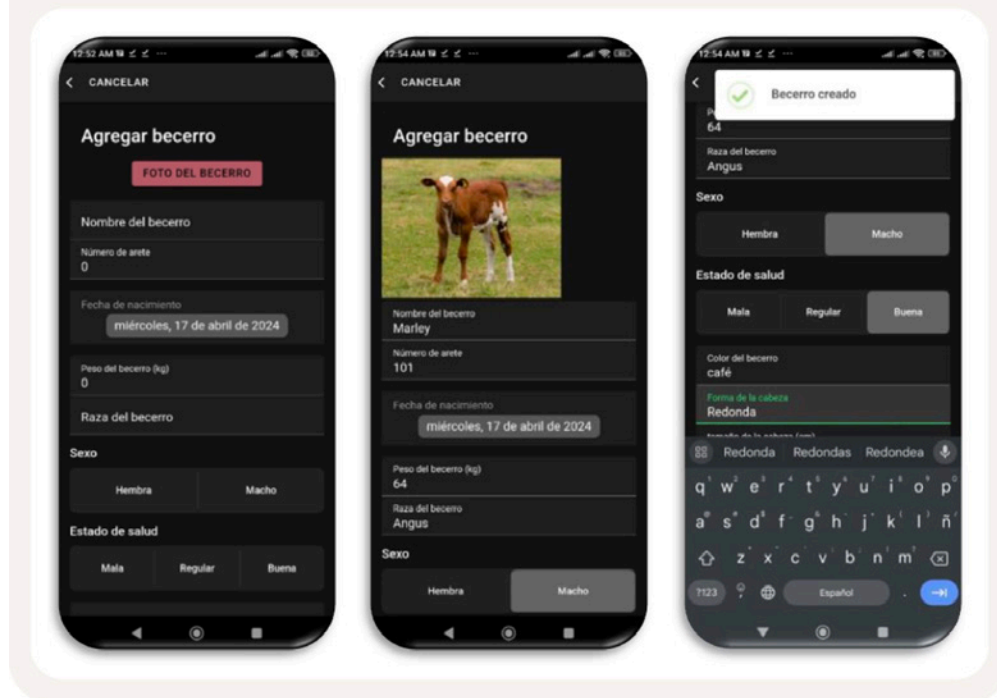
Diagrama de Secuencia de Caso de Uso "Cuidado de la Vaca en Gestación"



5. El siguiente paso fue desarrollar la aplicación móvil con diferentes tipos de tecnologías como son: Android y Angular; posterior a ello, el software fue validado de acuerdo a requerimientos e implementado en dispositivos de algunos productores ganaderos para uso y evaluación.

Figura 7.

Pantallas de la aplicación móvil.



6. Finalmente se realizó la medición de la funcionalidad y eficiencia app a partir del uso de estadística descriptiva. Esta actividad requirió del diseño de un instrumento de medición, que incluyo 15 preguntas basada en los estándares de calidad del software (ISO/IEC 25010 y principios de usabilidad de Nielsen), enfocadas a evaluar la calidad de la app en las dimensiones funcionalidad, eficiencia y usabilidad. Para medir se usaran variables con una escala de Likert de 0 a 4, con los siguientes valores:

- 0 = Totalmente en desacuerdo
- 1 = En desacuerdo
- 2 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- 3 = De acuerdo
- 4 = Totalmente de acuerdo

Para aplicar el instrumento fue indispensable conocer la población de estudio, así como la definición de la muestra poblacional n , calculada mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N-1)e^2 + Z^2pq}$$

Con los parámetros $N=174$, $Z=1.96$, $p=0.5$, $e=0.05$, generando $n=120$; es decir una muestra de 120 ganaderos.

RESULTADOS

Con la implementación de la aplicación de software propuesta en este estudio se esperaba una mejora significativa en el sistema de producción vaca-cría de la región de Hueytamalco, Puebla. De esta manera, el uso de tecnología de gestión y automatización de información a través del software desarrollado se tradujo en una oportunidad de mejora en el control de actividades realizadas por el personal al frente de cada rancho de pequeños productores. Sin embargo, conocer el impacto del uso de la app requirió además de implementarla, conocer la experiencia de los ganaderos. La encuesta aplicada, permitió conocer los diferentes puntos de vista de la población estudiada.

Después de usar la aplicación, se pudo conocer el impacto de la app en productores de vaca-cría en su actividad diaria; las respuestas del instrumento aplicado se concentraron para su análisis en la tabla 1.

Tabla 1.

Respuestas del uso de la App de los ganaderos

RESPUESTA		Totalmente de acuerdo	de acuerdo	ni en acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
DIMENSIÓN	PREGUNTA	V=4	V=3	V=2	V=1	V=0
Funcionalidad	1	80	32	8	0	0
	2	112	8	0	0	0
	3	95	21	4	0	0
	4	83	37	0	0	0
	5	108	8	4	0	0
Eficiencia	6	87	25	8	0	0
	7	115	5	0	0	0
	8	55	45	20	0	0
	9	79	36	5	0	0
	10	90	27	3	0	0
Usabilidad	11	55	43	19	3	0
	12	90	23	7	0	0
	13	99	18	3	0	0
	14	106	14	0	0	0
	15	65	55	0	0	0

Tabla 2.

Puntajes y porcentajes de cada pregunta con respecto a las dimensiones analizadas.

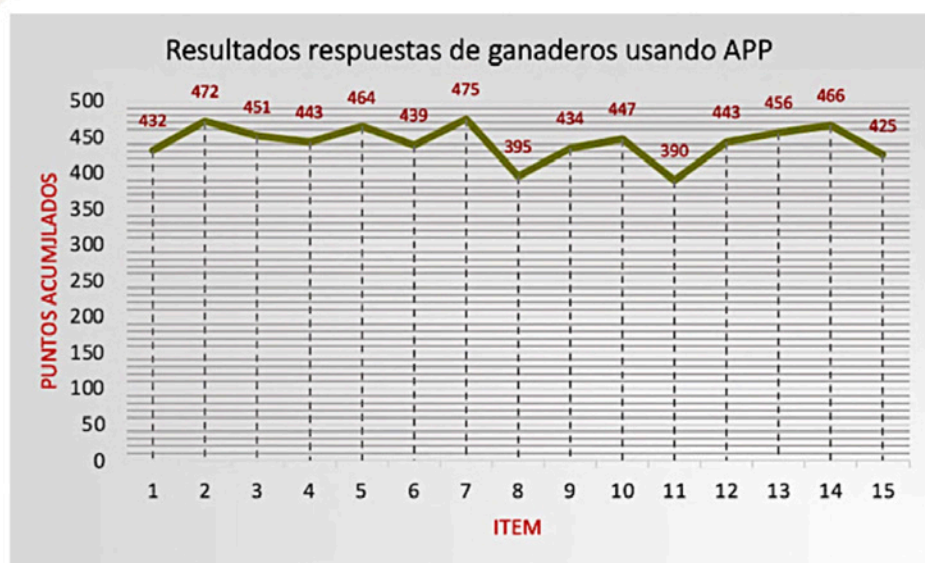
PREGUNTA	Ptos. max 480	%	% dimensión	DIMENSIÓN
1	432	90%	94%	Funcionalidad
2	472	98%		
3	451	94%		
4	443	92%		
5	464	97%		
6	439	91%	91%	Eficiencia
7	475	99%		
8	395	82%		
9	434	90%		
10	447	93%		
11	390	81%	91%	Usabilidad
12	443	92%		
13	456	95%		
14	466	97%		
15	425	89%		

La tabla 2 muestra los concentrados de cada pregunta, así como, los porcentajes de aceptación en una de las dimensiones establecidas, las cuales reflejan un porcentaje por encima del 91%.

La figura 8 muestra la total aceptación de la app parte de los usuarios, con respuestas que implicaron estar totalmente de acuerdo, con resultados positivos del uso de la aplicación.

Figura 8.

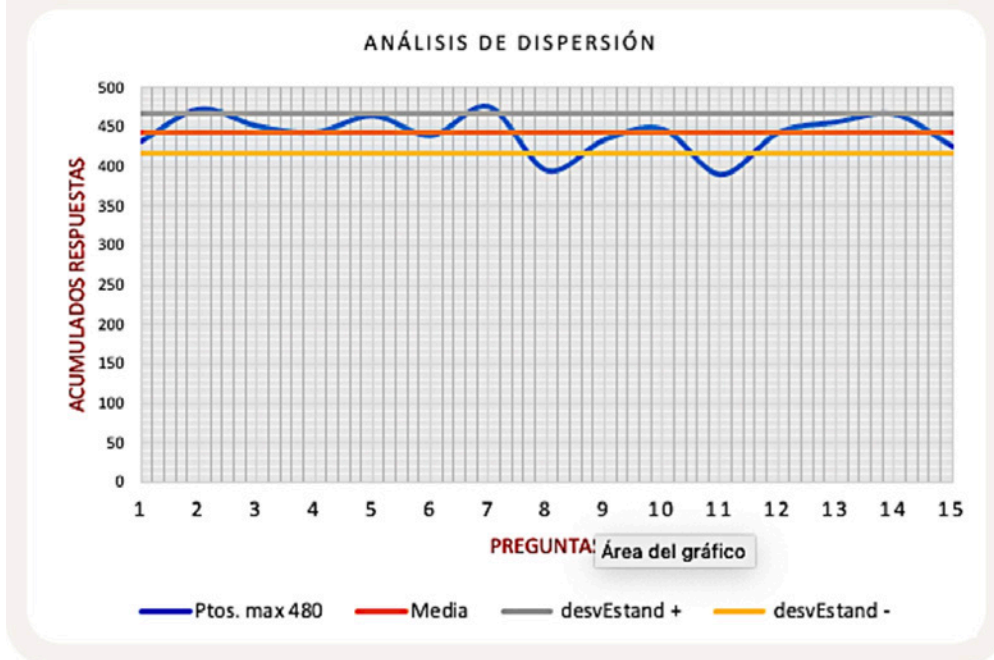
Gráfica que muestra el puntaje alcanzado por cada una de las respuestas de la encuesta realizada.



La figura 9, muestra la total aceptación de la app, ya que la desviación estándar indica que las respuestas de la población se encuentran en el intervalo donde los usuarios están de acuerdo y totalmente de acuerdo con el uso de la app.

Figura 9.

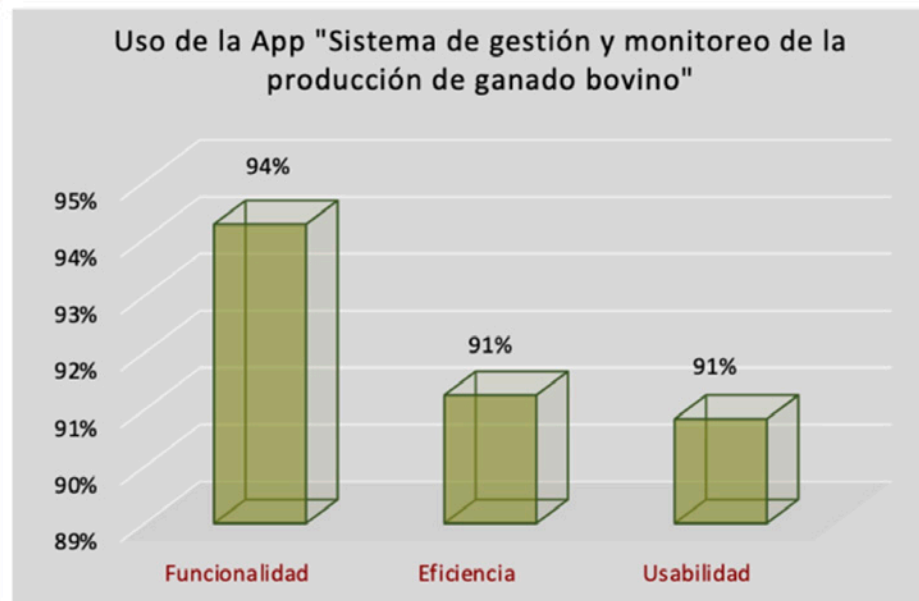
Grafica con análisis de dispersión de las respuestas generadas por los usuarios de la app



De esta forma, la incorporación de la solución tecnológica planteada, con una medición de eficiencia de más del 91%, ver figura 10. Se propone como una solución para impulsar el desarrollo y crecimiento del sector ganadero en el Estado de Puebla, especialmente para pequeños ganaderos en la región de Hueytamalco, ya que además de optimizar la gestión y control del ganado, tiene el potencial de ser un modelo replicable en pequeños productores de cualquier región, lo que supone un impacto positivo a nivel estatal y nacional.

Figura 10.

Resultados de la evaluación de funcionalidad, eficiencia y usabilidad de la app



CONCLUSIÓN

La implementación de la aplicación móvil para la gestión del proceso de producción de becerros en la región de Hueytamalco, Puebla, ha demostrado ser una estrategia tecnológica efectiva para mitigar las deficiencias en el control y monitoreo de datos identificados en el sistema vaca-cría. Los resultados obtenidos a través de la encuesta de usabilidad y funcionalidad, basada en los estándares ISO/IEC 25010 y los principios de Nielsen, validan la robustez técnica y la aceptación por parte de los usuarios finales.

El estudio confirma la hipótesis de que el uso de una aplicación móvil mejora sustancialmente la gestión y el monitoreo de datos. Más allá de la eficiencia operativa, esta solución tecnológica actúa como un catalizador para reducir la brecha digital en pequeños

productores, fomentando una cultura de toma de decisiones basada en datos.

Finalmente, el modelo de desarrollo basado en Scrum y el enfoque en la Experiencia de Usuario (UX) aseguran que

la solución no solo es funcional, sino también sostenible y adaptable a las necesidades específicas del entorno ganadero. Este proyecto establece un precedente para la digitalización del sector primario en México y sienta las bases para futuras líneas de investigación, incluyendo la integración de tecnologías de IoT (Internet de las Cosas) para el monitoreo en tiempo real y el desarrollo de modelos predictivos de salud animal basados en los datos recopilados.

En conclusión, la adopción de la solución tecnológica propuesta, mejora la eficiencia del control del proceso de producción

REFERENCIAS

Alaimo Diego, M. (2013). Proyectos ágiles con Scrum. Buenos Aires, Argentina: KLEER.BOADA ORIOLS, Miquel; GÓMEZ GUTIÉRREZ, Juan Antonio (2019), El gran libro de Angular. España: Alfaomega

Bautista M., Y., Granados Z., L., Joaquín C., S., Ruiz A., M., Garay M., J. R., Infante R., F., & Granados R., L. D. (2021). Factores que determinan la producción de becerros en el sistema vaca-cría del Estado de Tabasco, México. Nova Scientia.

BioPaSOS. (2023). Cadena productiva de carne bovina del estado de Campeche, México. Turrialba, Costa : Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, .

Booch, G., Rumbaugh, J., & Jacobson, I. (2000). UML : el lenguaje unificado de modelado. España: Addison - Wesley.Censo Agropecuario. (2012). Cría y explotación de animales en

Puebla. México: INEGI. Callejas-Juárez, N. (2024). Mercado de bovinos para engorda en México: un enfoque de redes. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), 1-15.

Callejas-Juárez, N., & Callejas-Martínez, A. (2022). Análisis de la eficiencia del sistema vaca-becerro en México. *Terra Latinoamericana*, 40,

Congreso del Estado de Puebla. (29 de Diciembre de 2017). LEY GANADERA PARA EL ESTADO DE PUEBLA. Periódico Oficial del Estado de Puebla.

CONSOCPEC. (2023). Temas actuales y problemas emergentes de la ganadería. Consejo Nacional de Consultores en Producción Pecuaria. (Sustenta la persistencia de registros rudimentarios/manuales).

Del Valle H., L. (2019). Desarrollar aplicaciones con Visual Studio Community. Obtenido de Programar Fácil:

El Economista. (2023). Obtenido de Universo de la Salud animal:

<https://www.universodelasaludanimal.com/ganaderia/importancia-de-la-vacunacion-contra-enfermedades-reproductivas-en-bovinos-posdestete/>

Espinosa-García J., Vélez-Izquierdo, A., Góngora-González, F., Cuevas-Reyes, V., Vázquez-Gomez, R., Rivera-Maldonado, R. (2018). Evaluación del impacto en la productividad y rentabilidad de la tecnología transferida al sistema de bovinos de doble propósito del trópico mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21, 261-272.

Fernandez Baro, I. A. (2017). Diagnóstico del proceso administrativo de una empresa de ganado bovino ubicada al norte del Estado de Puebla. Puebla: Universidad Iberoamericana Puebla.

Garay-Martínez, J. R., Godina-Rodríguez, J. E., et al. (2024). Caracterización de unidades de producción pecuaria en Aldama, Tamaulipas, México: productores, hato y alimentación animal. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(1), e3743.

González, A. E. M. (2024). Transferencia del conocimiento y tecnología para el fortalecimiento del Sector Agrícola en México. Repositorio Institucional UAQ. (Sustenta el rezago tecnológico y los retos del sector).

Gobierno de Puebla. (Marzo de 2023). Noticias. Obtenido de PUEBLA, Un gobierno presente.:

<https://www.puebla.gob.mx/index.php/busqueda/itemlist/search?searchword=ganaderia&categories=3&Itemid=148>, Google Cloud: Servicios de cloud computing, (2021),

Hernandez, E. (29 de Agosto de 2023). Quo.mx. Obtenido de Ciencia y Tecnología:

Iñiguez Torres, F. G. (13 de Junio de 2022). Pecuarios.com. Obtenido de Ganaderia.com: <https://www.ganaderia.com/destacado/buenas-practicas-clinicas-para-la-aplicacion-de-biologicos-en-bovinos>

MSD Salud Animal. (3 de Marzo de 2022). Noticias. Obtenido de Ocupa México el séptimo lugar a nivel mundial en producción de carne de bovino :

Obregón Perdomo, L. A., Ortiz Meneses, C. A., & Cuellar Medina, Y. (2022). La utilización de las herramientas tecnológicas en los sistemas de producción ganaderas doble propósito. I + D Revista de Investigaciones.

OCDE/FAO. (2024). Perspectivas Agrícolas OCDE-FAO 2024-2033. OCDE Publishing, París/FAO, Roma.

Reinoso, M. V. A., Alarcon, L. F. J., & Carpio, W. T. M. (2023). La innovación tecnológica en la transformación hacia modelos de negocios socio productivos y sostenibles. Journal of Science and Research, 8(1), 1-15.

Rojas Juarez, L. (2017). Optimizar el control del proceso de producción de becerros en ranchos ganaderos de la región Teziutlán, Puebla, mediante el desarrollo de una aplicación móvil que realice el análisis de variables de alimentación y cuidados de vacas y becerros con la fina. Puebla, Puebla.: Colegio de Posgraduados,

Salazar-Xirinachs, J. M., & Llinás, M. (2023). Hacia la transformación de la estrategia de crecimiento y desarrollo de América Latina y el Caribe: el papel de las políticas de desarrollo productivo. Revista de la CEPAL, (139), 57-76.

Santillán, O. (s.f.). Ganadería de precisión. Foro Consultivo Científico y Tecnológico (INCyTU). (Sustenta la tendencia de la Ganadería de Precisión como opción sostenible para productores mexicanos).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP. (2021). Gobierno de México. Obtenido de SIAP:

Obregón Perdomo, L. A., Ortiz Meneses, C. A., & Cuellar Medina, Y. (2021). La utilización de las herramientas tecnológicas en los sistemas de producción ganaderas doble propósito. I+D Revista De Investigaciones, 17(1), 34–48

Unidad pecuaria de bovinos doble propósito genotipificados

Resumen

El objetivo de este estudio es dar a conocer los resultados de un Banco de Germoplasma (BG) de ganado Doble Propósito (DP). Con la finalidad de seleccionar donadores de semen y embriones, se utilizan los registros de producción del Hato del C. E. La Posta, para predecir el valor genético en base a la Habilidad Predicha de Transmisión (HPT), la diferencia Esperada en la Progenie (DEP) para características reproductivas. Las características reproductivas analizadas fueron: duración de la gestación (DG), edad a primer parto (EPP), intervalo del primer servicio a la concepción (ISC) e intervalo entre el parto y la concepción (IPC). Los datos se analizaron con modelos animal bivariados utilizando el programa MTDFREML, para obtener los componentes de varianzas. Para identificar marcadores moleculares (SNP) se utilizó el panel Bovine Genotyping Beadchip (Geneseek[®] Genomic Profiler Bovine™ 150K) con la plataforma de tipificación de genotipos de Illumina y se realizó un análisis estadístico de la expresión de los genes asociados a fertilidad (motilidad total (MT) y motilidad progresiva (MO)) y, para estrés calórico los genes: *hsp60*, *hsp70* y *hsp90* con un modelo de medidas repetidas, utilizando PROC MIXED de SAS. La h^2 de DG (0.29) presenta oportunidad de mejorarla mediante un programa de selección. El SNP más importante encontrado fue el ARS-BFGL-NGS-116417 (valor de p-ajustado =1.34E-12), que tiene funciones en la espermatogénesis y el SNP BTB-01354898 mostró una asociación con MT y MP. La expresión del gen *hsp70* fue

significativa ($p < 0,05$) para los animales con porcentaje de genes *Bos taurus* > 0.75 . Contar con un BG de animales que presentan una h^2 moderada, algunos de los SNP significativos localizados en las proximidades de genes con funciones en la fertilidad y la expresión de asociación a resistencia a estrés calórico, representa la oportunidad de lograr mejorar la producción de bovinos DP.

Palabras clave: Banco de Germoplasma, La Posta, gametos

Introducción

Los sistemas de cruzamiento utilizados en el trópico de México para la obtención de poblaciones de ganado Doble Propósito, son un recurso zoogenético, que se emplea para obtener un beneficio alimentario, económico y cultural en Unidades de Producción de pequeños productores. El estudio y uso de estos recursos se realiza de manera integral, priorizando su cuidado, bienestar y producción sostenible mediante el cruzamiento con razas europeas y cebuínas con la finalidad de aplicar selección de los animales más productivos y resistentes a el trópico húmedo y seco de nuestro país. La criopreservación y conservación de este recurso genético se hace necesario debido a que igual que en las razas Criollas, el uso intensivo y los cambios en el mercado en los precios de la leche y la carne, generan cambios en las necesidades específicas de la producción y aumentan las tendencias a utilizar razas terminales y/o razas especializadas en carne o leche, esto puede causar por medio del encaste, una reducción en el espectro de variabilidad genética en estas poblaciones seleccionadas por sus características genéticas aditivas y no aditivas, lo cual pone en riesgo a este grupo sobresaliente para la ganadería Doble Propósito en el trópico.

Material y métodos

Con la finalidad de Estandarizar el control de registros de producción en el Hato del C. E. La Posta ubicado en Paso del Toro, municipio de Medellín de Bravo, en el estado de Veracruz, México, a 15° 18' N y 96° 10' O, a 12 m sobre el nivel del mar. La región tiene clima tropical seco (Aw1), con temperatura máxima, media y mínima de 35.2, 25.0 y 15.0°C, respectivamente, y precipitación pluvial promedio y humedad relativa de 1.461 mm y 77,4%, respectivamente (García, 1988). Para predecir el valor genético de los animales del hato se seleccionan machos en base a la habilidad Predicha de transmisión (HPT) para producción de leche y la diferencia Esperada en la Progenie (DEP) para las características de crecimiento y reproductivas de todos los animales, se congela y distribuye el semen de estos toros cruzados evaluados en base a sus Diferencias Esperadas de la Progenie y Habilidades Predichas de Producción. Las muestras de semen fueron evaluadas a través de un sistema CASA-SCA[®]. Se realizó también selección de vacas y vaquillas de reemplazo para la producción en el hato de DP y se producen embriones *in vivo e in vitro en el laboratorio Acuático pecuario del CNRG-INIFAP*. Las evaluaciones genéticas se realizan anualmente con la finalidad de obtener la Habilidad Predicha de Transmisión (HPT) para producción de leche y la Diferencia Esperada en la Progenie (DEP) para las características de crecimiento y reproductivas de todos los animales en el control de Producción del hato del C. E. La Posta. Los HPT y DEP se predicen utilizando metodologías adecuadas para cada una de las características productivas a evaluarse. La inclusión de los efectos genéticos no aditivos, como son el porcentaje de genes *Bos taurus taurus*, heterocigosis y pérdidas por recombinación dentro de la evaluación genética de los animales del hato del C. E. La Posta, lo cual evita sesgos y aumentara la precisión en las estimaciones de los HPT y DEP, como lo han comprobado varios autores

anteriormente, Kahi *et al.* (2000), Demeke *et al.* (2003) y Roso *et al.* (2005).

Análisis de características reproductivas en las hembras

Se analizó la base de datos que contenía registros reproductivos y genealógicos de 620 vacas Holstein, Suizo Pardo, Simmental, Brahman y diferentes cruizas entre estas, nacidas entre 1996 y 2017 y que parieron entre 1998 y 2021. Las características analizadas fueron: Duración de la Gestación (DG), Edad a Primer Parto (EPP), Intervalo del Primer Servicio a la Concepción (ISC) e Intervalo entre el Parto y la Concepción (IPC). Los datos se analizaron con modelos animal bivariados utilizando el programa MTDFREML, para obtener los componentes de varianzas.

Genotipado

La identificación de los marcadores moleculares (SNP) se realizó mediante el panel Bovine Genotyping Beadchip que contiene 150,000 SNP (Geneseek[®] Genomic Profiler Bovine[™] 150K) utilizando la plataforma de tipificación de genotipos de Illumina.

Sementales

Las variables estudiadas (fenotipos) fueron: Motilidad Total (MT), Motilidad Progresiva (MP), Motilidad Linealidad (LIN), Rectitud (STR) y Desplazamiento Oscilatorio (WOB); usando el sistema CASA-SCA[®]. Los datos obtenidos por la cámara se envían a una computadora, que contiene un software específico para diferentes

tipos de análisis (Valverde *et al.*, 2020).

Hembras

El análisis estadístico de la expresión de los genes asociados a estrés calórico: *hsp60*, *hsp90* y *hsp70* se llevó a cabo con un modelo de medidas repetidas, utilizando PROC MIXED de SAS, versión 9,3 (SAS Institute Inc, 2011). En el análisis se consideraron los animales a partir de los cuales se obtuvo amplificación del gen *hsp* y el gen de referencia β -actina, con valores $\Delta \Delta Ct$ menores a 40. Se descartaron aquellos que no cumplieron con estos criterios. De esta manera además de asegurar la conservación de este germoplasma, se seleccionan a los donadores de semen y a las donadoras de embriones para obtener germoplasma con valor agregado para la heredabilidad, retención de heterosis y variabilidad genética.

Resultados

Las heredabilidades (h^2) estimadas a partir de los componentes de varianzas se muestran en el **Cuadro 1**.

Cuadro 1.

Componentes de varianzas y heredabilidad estimadas para Duración de la Gestación (DG), Edad al Primer Parto (EPP), Intervalo del Primer Servicio a la Concepción (ISC) e Intervalo Parto a la Concepción (IPC).

Característica	σ_a^2	σ_{pe}^2	σ_p^2	$h^2(EE)$
DG	12.66	31.57	44.23	0.29 (0.03)
EPP	31259.49	698111.43	729370.93	0.04 (0.00)
ISC	363.85	5761.55	6125.41	0.06 (0.00)
IPC	3867.32	219659.88	223527.20	0.02 (0.015)

σ_a^2 : varianza genética aditiva; σ_{pe}^2 : varianza ambiental; σ_p^2 : varianza fenotípica; h^2 : heredabilidad; EE: error estándar.

Del total de sementales y marcadores analizados, 7 toros y 131,358 marcadores respectivamente, pasaron el control de calidad. La tasa de genotipado de la muestra de animales fue de 0.99. Todos los SNP evaluados fueron polimórficos. En el **Cuadro 2** se presenta el listado de los SNP asociados a MT y MP. Ocho SNP al valor de p umbral de al menos 1×10^{-6} estuvieron asociados con la MT y MP. El SNP más importante encontrado fue el ARS-BFGL-NGS-116417 (valor de p-ajustado = 1.34×10^{-12}), que se localiza en el cromosoma 5, y tiene funciones clave en la espermatogénesis. El SNP BTB-01354898, localizado en el cromosoma 29 mostró una asociación con MT y MP.

Cuadro 2.

Lista de SNP identificados asociados motilidad total y motilidad progresiva

BTA ¹	Significant SNP	P-value	MAF ³
1	BTB-00069838	7.00E-10	0.06
6	BTA-94560-no-rs	2.45E-09	0.28
7	ARS-BFGL-NGS-11368	1.50E-08	0.13
7	BTA-79723-no-rs	2.30E-06	0.23
9	BovineHD0900017655	3.34E-10	0.14
12	BTB-01886351	3.50E-10	0.34
5	ARS-BFGL-NGS-116417	1.34E-12	0.13
29	BTB-01354898	4.25E-07	0.09

MAF=Frecuencia del alelo menor

Las medias de la expresión de los genes estudiados presentaron diferencia entre la mañana y la tarde, con excepción del gen hsp90, cuya diferencia fue menor. Los genes hsp60, hsp70 y hsp90 tuvieron mayor expresión en los animales donde el porcentaje de genes *Bos taurus* fue mayor (0,75). Sin embargo, esta diferencia fue significativa únicamente para el gen hsp70. La producción de leche de las vacas HO-x y de las SP-x en ordeña fue de $7,70 \pm 2,14$ y $8,20 \pm 1,81$ en la mañana y $3,73 \pm 1,05$ y $4,08 \pm 1,36$ por la tarde (**Cuadro 3**).

Cuadro 3.

Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para la expresión relativa normalizada de los genes *hsp60*, *hsp70* y *hsp90*, temperatura corporal y frecuencia respiratoria en vacas de doble propósito por efecto incluido en el modelo estadístico.

Efecto	<i>hsp60</i>	<i>hsp70</i>	<i>hsp90</i>	Temperatura corporal	Frecuencia respiratoria
Periodo del día					
AM	1,61 ± 0,41 ^a	99 ± 0,23 ^a	0,36 ± 0,18 ^a	37,96 ± 0,16 ^a	23,13 ± 0,39 ^a
PM	0,96 ± 0,41 ^b	0,45 ± 0,22 ^b	0,17 ± 0,06 ^a	39,45 ± 0,11 ^b	25,64 ± ,43 ^b
Porcentaje de genes					
0,625	1,61 ± 0,41 ^a	0,57 ± 0,32 ^a	0,37 ± 0,13 ^a	38,66 ± 0,13 ^a	24,31 ± 0,39 ^a
0,750	1,6 ± 0,52 ^a	0,87 ± 0,26 ^b	0,16 ± 0,13 ^a	38,75 ± 0,12 ^a	25,64 ± ,43a
Grupo racial					
HO x C	0,45 ± 0,53 ^a	0,16 ± 0,27 ^a	0,27 ± 0,14 ^a	38,77 ± 0,12 ^a	24,44 ± 0,44 ^a
SP x C	2,13 ± 0,64 ^a	1,28 ± 0,32 ^b	0,26 ± 0,12 ^a	38,64 ± 0,14 ^a	24,26 ± ,32a
Estado fisiológico					
Horra	1,15 ± 0,59 ^a	0,76 ± 0,31 ^a	0,09 ± 0,12 ^a	38,68 ± 0,14 ^a	23,99 ± 0,45 ^a
Lactando	1,43 ± 0,55 ^a	0,68 ± 0,28 ^a	0,43 ± 0,13 ^b	38,74 ± 0,12 ^a	24,71 ± ,32 ^a

^{a,b} Medias con distinta literal son diferentes ($p < 0,05$). Ho x C: Holstein x Cebú, SP x C: Suizo Pardo x Cebú.

Discusión

Las heredabilidades de los rasgos complejos de fertilidad suelen ser bajos, principalmente debido a la gran influencia de los efectos de manejo y ambientales, tales como lo indican los resultados del presente estudio. Las características evaluadas en este estudio corresponden a datos que pueden estar altamente influenciado por el manejo de los datos y los estimadores de h^2 varían en

dependencia del hato, la estructura poblacional, la raza, el método de estimación etc. Por eso, la tendencia futura es utilizar fenotipos reproductivos potencialmente menos influidos por la gestión humana, esto podría resultar en características más heredables, lo cual podría acelerar la ganancia genética para el rendimiento reproductivo. Un ejemplo de estos rasgos pueden ser el inicio posparto de la actividad lútea medido por los niveles de progesterona, la cual están correlacionados fenotípicamente y genéticamente con los rasgos r. El SNP ARS-BFGL-NGS-116417 que se localiza en el cromosoma 5, aproximadamente 27 kb del gen LOC784935 y tiene funciones clave en la espermatogénesis de *Caenorhabditis elegans* (Luitjens *et al.* 2000). La proteína cpb-1 está presente en la línea germinal justo antes de la espermatogénesis manifiesta y es esencial para el éxito de la progresión a través de la meiosis. Dado que ARS-BFGL-NGS-116417 y LOC784935 sólo están separados por 27 kb y que el equilibrio de ligamiento fuerte puede extenderse hasta 50 kb en el ganado Holstein (Kim & Kirkpatrick 2009), este resultado podría sugerir a LOC784935 como gen candidato para la fertilidad del toro. El SNP BTB-01354898 está situado en una región genómica en la que no hay genes registrados. Sin embargo, McClure *et al.* (2010) informaron de la presencia de un locus de rasgo cuantitativo (QTL) en esta región que estaba significativamente asociado con la circunferencia escrotal en ganado Angus. La circunferencia escrotal se correlaciona positivamente con la producción de espermatozoides y es utilizada por ganaderos y veterinarios para predecir la fertilidad del toro (Steffen 1997). Así, nuestro hallazgo proporciona más evidencia de la presencia de uno o más genes que afectan a la fertilidad del toro en esta región del cromosoma 29.

Los valores de expresión del gen *hsp70* que se muestran en el **Cuadro 3**, concuerdan con lo hallado en diferentes estudios

realizados en distintas razas bovinas y búfalos que comparaban la expresión de los genes *hsp60*, *hsp70* y *hsp90* frente a estrés calórico (Kumar *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2016; Hooper *et al.*, 2019; Shandilya *et al.*, 2020; Guzmán *et al.*, 2023). No obstante, también se ha demostrado una expresión mayor del gen *hsp60* durante el golpe de calor, mientras éste aumentaba, la expresión de los genes *hsp70* y *hsp90* disminuía (Hooper *et al.*, 2019). En un estudio realizado con bovinos Simbrah de diferentes localidades tropicales del territorio mexicano, se encontró que la expresión del gen *hsp60* fue mayor al mediodía que en la madrugada (Guzmán *et al.*, 2021). Por otra parte, en un estudio previo en la misma raza no se encontraron diferencias en la expresión del gen *hsp60*, aunque si hubo diferencias entre los valores de las muestras tomadas en la mañana y tarde (Guzmán *et al.*, 2019). El gen *hsp70* se ha identificado como un mejor indicador de estrés calórico que el gen *hsp90* debido al poco o nulo aumento de su expresión durante eventos de estrés calórico (Kumar *et al.*, 2018). Se ha sugerido que la expresión del gen *hsp70* es importante para la protección prolongada de las células y que a nivel celular está asociada con el desarrollo de la tolerancia, debido a que se sintetiza rápidamente bajo situaciones de estrés calórico (Hu *et al.*, 2016). Animales menos adaptados muestran una expresión mayor de este gen, por lo que puede ser utilizado como un indicador de animales con mayor capacidad de adaptabilidad (Bretanha *et al.*, 2019).

Conclusión

En las hembras la duración de la gestación presenta una heredabilidad moderada, esto representa la oportunidad de lograr mejorarla a través de un programa de selección, contrario a las h^2 estimadas para EPP, ISC y IPG, ya que son cercanas a cero.

En los sementales se identificaron ocho SNP con efectos significativos sobre algunas características seminales. Algunos de los SNP significativos se localizaron en las proximidades de genes con funciones en la fertilidad masculina. Estos resultados contribuyen a la identificación de genes y vías asociados a la fertilidad de los machos bovinos bajo condiciones tropicales.

En sementales y hembras de remplazo la expresión de los genes *hsp60* y *hsp70* en bovinos Holstein x Cebú y Suizo Pardo x Cebú, en lactación y horas, en un sistema de producción de DP en el trópico de México presentó diferencias entre las mediciones en mañana y la tarde.

Los animales con mayor porcentaje de genes *Bos taurus* (0,75) mostraron mayor expresión de los genes *hsp60* y *hsp90*. No se encontraron diferencias en la expresión de estos genes de entre animales cruzados con Holstein o Suizo Pardo. Los resultados indican que la expresión de los genes *hsp* es un buen indicador para identificar bovinos de DP termotolerantes bajo condiciones de trópico húmedo, lo cual tendría como consecuencia menos efectos negativos por el aumento de las temperaturas y mayores índices de productividad en los hatos. Este BG potencialmente podría incorporarse en programas de mejoramiento genético utilizando animales con mayor potencial de fertilidad y tolerancia al estrés calórico.

Agradecimientos

Se agradece al COVEICYDET por su apoyo al proyecto de investigación CP 0510 1149/2023.

Referencias

Bretanha, F., M.M. Renata, A. de Cássia, I.C. Gervásio, A.M. Guaratini, T.R. Santos, et al. 2019. Differential expression of HSF1 and HSPA6 genes and physiological responses in Angus and Simmental cattle breeds. *Journal of Thermal Biology* 84:92–98.

Demeke, S., Nesor, FWC y Schoeman, SJ (2004). Estimaciones de parámetros genéticos para boran, frisón y cruces de frisón y jersey con el ganado boran en las tierras altas tropicales de Etiopía: rasgos de reproducción. *Revista de genética y cría de animales*, 121 (1), 57-65.

García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 1988; 276 p.

Guzmán, L., F. Villaseñor, V. Vega, S. Roman, y M. Bermúdez. 2019. Expresión del gen hsp60 en bovinos simbrah expuestos a estrés calórico en el trópico mexicano. XII Simposio Internacional de Recursos Genéticos para Las Américas y El Caribe. Uruguay.

Guzman, L., G. Martinez, F. Villaseñor, J. Fránquez, A. Utrera, M. Bermúdez, et al. 2021. Expresión del gen hsp60 en bovinos simbrah expuestos a estrés calórico en el trópico mexicano. LVI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. México. https://www.researchgate.net/publication/356694462_EXPRESION_DEL_GEN_HSP60_EN_BOVINOS_SIMBRAH_EXPUESTOS_A_ESTRES_CALORICO_EN_EL_TROPICO_MEXICANO

Guzmán, L., G. Martinez-Velázquez, F. Villaseñor- González, V. Vega-Murillo, J. Palacios-Fránquez, A. Utrera, et al. 2023. Expression of heat shock protein genes in Simmental cattle exposed to heat stress. *Animal Bioscience* 35(5): 704-709. doi: 10.5713/ab.22.0266.

Hooper, H.B., C.G. Titto, A.M. Gonella-Díaz, F.L. Henrique, L.F. Pulido-Rodríguez, A.L.S. Longo, et al. 2019. Heat loss efficiency and HSPs gene expression of Nellore cows in tropical climate conditions. *International Journal of Biometeorology* 63(11):1475–1486. doi: 10.1007/s00484-018-1576-5

Hu, H., Y. Zhang, N. Zheng, J. Cheng, and J. Wang. 2016. The effect of heat stress on gene expression and synthesis of heat-shock and milk proteins in bovine mammary epithelial cells. *Animal Science Journal* 87(1): 84–91. doi: 10.1111/asj.12375

Kahi, AK, Thorpe, W., Nitter, G. y Baker, RL (2000). Cruzamiento para la producción lechera en las tierras bajas tropicales de Kenia: I. Estimación de los efectos del cruzamiento individual en la producción de leche y los rasgos reproductivos y en el peso vivo de las vacas. *Ciencia de la producción ganadera*, 63 (1), 39-54.

Kim, ES y Kirkpatrick, BW (2009). Desequilibrio de ligamiento en la población Holstein norteamericana. *Genética animal*, 40 (3), 279-288.

Kumar, A., S. Ashraf, T.S. Goud, A. Grewal, S.V. Singh, B.R. Yadav, et al. 2015. Expression profiling of major heat shock protein genes during different seasons in cattle (*Bos indicus*) and buffalo (*Bubalus bubalis*) under tropical climatic condition. *Journal of Thermal Biology* 51: 55–64. doi: 10.1016/j.jtherbio.2015.03.006

Kumar J, A.K Madan, M.Kumar, R. Sirohi, B. Yadav, A.V. Reddy, and D.K. Swain. 2018. Impact of season on antioxidants, Nutritional metabolic status, cortisol and heat shock proteins in haryana and sahiwal cattle. *Biological Rhythm Research* 49(1):29–38.

Luitjens C., Gallegos M., Kraemer B., Kimble J. & Wickens M. (2000) CPEB proteins control two key steps in spermatogenesis in *C. elegans*. *Genes and Development* 14, 2596–609.

McClure M.C., Morsci N.S., Schnabel R.D. et al. (2010) A genome scan for quantitative trait loci influencing carcass, post-natal growth and reproductive traits in commercial Angus cattle. *Animal Genetics* 41, 597–607.

Muuttoranta, K., Tyrisevä, A. M., Mäntysaari, E. A., Pösö, J., Aamand, G. P., & Lidauer, M. H. (2019). Genetic parameters for female fertility in Nordic Holstein and Red Cattle dairy breeds. *Journal of dairy science*, 102(9), 8184-8196.

Roso, VM, Schenkel, FS, Miller, SP y Schaeffer, LR (2005). Estimación de efectos genéticos en presencia de multicolinealidad en la evaluación de ganado vacuno multirracial. *Revista de ciencia animal*, 83 (8), 1788-1800.

SAS. Statistical Analysis System. SAS User's guide. SAS/STAT R, Version 9.3. Cary, NC, USA; SAS Institute Inc., 2011.

Shandilya, U.K., A. Sharma, M. Sodhi, and M. Mukesh. 2020. Heat stress modulates

differential response in skin fibroblast cells of native cattle (*Bos indicus*) and riverine buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Bioscience Reports* 40(2).

Steffen D. (1997) Genetic causes of bull infertility. *Veterinary Clinics of North American: Food Animal Practice* 13, 243–53.

Valverde, A., Barquero, V., y Soler, C. (2020). The application of computer-assisted semen analysis (CASA) technology to optimize semen evaluation. A review. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 29, 189-198.

Construcción de un sistema de expresión de la proteína P30 y P72 del virus de la Peste Porcina Africana (VPPA)

Perla Lucero Zavala Ocampo^{1,2} ; José Luis Cerriteño Sánchez¹; Julieta Sandra Cuevas Romero¹

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP. Carretera México-Toluca, KM 15.5, Palo Alto. CDMX, México.

²Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal.

Resumen

La peste porcina africana es una enfermedad extremadamente contagiosa, de naturaleza aguda y severa con síntomas hemorrágicos, que impacta a los cerdos de granja y a los jabalíes, siendo provocada por el virus de la peste porcina africana (VPPA). El objetivo de este trabajo es establecer las bases para el desarrollo de métodos de diagnóstico como herramientas para la detección temprana y a gran escala de la peste porcina africana que puedan utilizarse en un laboratorio con nivel de bioseguridad 2 en México, mediante la clonación de genes y análisis de las proteínas p30 y p72 del vPPA. La presente investigación consistió en el análisis bioinformático y la caracterización *in silico* de las proteínas p72 y p30 del VPPA con base en la aplicación de herramientas biotecnológicas y la amplificación de genes para la generación de un sistema de expresión recombinante. Se hizo una

revisión de la antigenicidad de cada proteína y el diseño de oligonucleótidos para amplificar la región proteica apropiada para la clonación y expresión de manera recombinante en el vector de expresión de pET SUMO. En este trabajo, se logró estudiar las características de las proteínas p30 y p72, así como amplificar genes derivadas de dichas proteínas para generar un sistema de expresión recombinante que permitirán proponerlas para su uso en el desarrollo de sistemas diagnósticos eficientes y oportunos contra la peste porcina africana. Debido al peligro potencial que representa esta enfermedad para el país.

Palabras clave: *peste porcina africana, p72, p30, cerdos, recombinante.*

Introducción

La peste porcina africana es una enfermedad altamente infecciosa aguda, grave y hemorrágica (tasa de mortalidad y morbilidad cercana al 100%) que afecta a cerdos domésticos y silvestres y es causada por el virus de la peste porcina africana (VPPA) (Wu *et al.* 2022). Actualmente se han caracterizado antígenos del VPPA para obtener información relevante que ayude a incrementar el control y erradicación de la enfermedad. Un ejemplo son las proteínas p30 (CP204L) y p72 (B646L) las cuales son proteínas de superficie del VPPA que inducen anticuerpos neutralizantes en cerdos (Zhang *et al.* 2022). Específicamente, las proteínas p30, pp62, p72 y CD2v están involucradas en la respuesta inmune de las células T de los cerdos vivos infectados con VPPA, entre las cuales las proteínas p72 y pp62 son las que tienen respuestas inmunitarias humorales y de células T específicas más fuertes (Sun *et al.* 2021). Además, estudios previos muestran que la inmunización con una combinación de p30 y p54 recombinantes, o una proteína quimérica p54/30,

indujo respuestas de anticuerpos eficaces en cerdos y logró diferentes grados de protección contra la exposición a VPPA (Zhang *et al.* 2022). La presencia de la PPA en República Dominicana desde el reporte del primer brote en 2021 representa una amenaza latente para México, que deriva en la necesidad de detección oportuna de los animales infectados y serológicamente positivos, basado en la aplicación de herramientas biotecnológicas, como el uso de proteínas recombinantes del virus. Con esto, p72 y p30 se convierten en proteínas para tener en cuenta para investigaciones que evalúen su potencial uso en el desarrollo de pruebas diagnósticas a través del desarrollo de sistemas inmunoenzimáticos como el iELISA, de tal manera que forme parte de las medidas de combate de esta enfermedad y se minimicen las consecuencias económicas en el país. Por lo que este trabajo tiene la finalidad de establecer las bases para el desarrollo de métodos de diagnóstico como herramientas para la detección temprana y a gran escala de la peste porcina africana que puedan utilizarse en un laboratorio con nivel de bioseguridad 2 en México, mediante la clonación de genes y análisis de las proteínas p30 y p72 del vPPA, así como el análisis bioinformático y caracterización *in silico* de las proteínas p72 y p30, además de amplificar los genes mediante una estrategia recombinante para la generación de un sistema de expresión que pueda ser utilizado en un futuro como una herramienta de diagnóstico de la enfermedad.

Material y métodos

Para este estudio se trabajó con la secuencia del genoma reportado de la peste porcina africana aislado en Georgia en 2007 (No. Acceso en GenBank FR682468), usado como cepa de referencia para México. Se diseñaron oligonucléotidos específicos para amplificar los ORFs de las proteínas p30 y p72, las cuales han sido

usadas en otras partes del mundo debido a su grado de conservación y capacidad para generar respuesta inmune. Se llevó a cabo la amplificación de p30 y p72 a partir de cDNA de la cepa Georgia 2007, mediante gradiente de temperaturas en PCR punto final. Los productos de clonación fueron secuenciados mediante SANGER y las secuencias fueron analizadas mediante el paquete bioinformático de DNASTar y los árboles filogenéticos se realizaron utilizando la máxima verosimilitud basada en el modelo JTT y distribución Gamma con al menos 1000 réplicas utilizando el software MEGA X. Posteriormente a partir de genes sintéticos derivados del genoma reportado de la peste porcina africana aislado en Georgia en 2007, con número de acceso: FR682468, que contiene las proteínas p72 y p30 fueron empleadas como molde para el desarrollo de este proyecto, las cuales han sido usadas en otras partes del mundo debido a su grado de conservación y capacidad para generar respuesta inmune. Swiss Model fue utilizado para la predicción del peso molecular y la estructura de ambas proteínas. Se obtuvo un modelo propuesto basado en la estructura de la proteína p72 y p30 con un porcentaje de homología mayor al 30%. Posteriormente, con el paquete bioinformático DNASTAR se realizó el análisis de las secuencias proteicas. Para la revisión de la antigenicidad se usaron los algoritmos de Jameson-Wolf (1988) y Kolaskar y Tongaonkar (1990) se usaron para predecir los sitios antigénicos y seleccionar la región proteica apropiada para la expresión en E. coli. Kyte y Doolittle (1982) se utilizaron para evaluar los residuos hidrofílicos e hidrofóbicos a lo largo de la secuencia de aminoácidos de las proteínas. La probabilidad de que una región de proteína dada se encuentre en la superficie se evaluó utilizando el enfoque de Emini et al. (1985). Los sitios glicosilados se predicen usando NetNGlyc - 1.0. Por otro lado, se diseñaron oligonucleótidos específicos usando Oligo Analyzer de IDT para recuperar el gen correspondiente al fragmento predicho como el mejor candidato a expresión correspondiente a una porción

del N-terminal de p72 y la región completa de p30, finalmente se propone un sistema de expresión recombinante para estas regiones, y su detección en un peso molecular esperado de 42 kDa (p72) y 33 kDa (p30). Para comprobar la temperatura más adecuada de reacción de PCR se realizó un gradiente de temperaturas mientras que, para verificar la presencia y amplificación adecuada de las proteínas, se realizaron reacciones de PCR y electroforesis en gel de agarosa al 1%. Para la producción de las proteínas, se indujeron cultivos de expresión en medio LB con IPTG en el sistema de E. coli como vector de expresión. Finalmente, la presencia de las proteínas recombinantes se corroboró mediante SDS-PAGE y Western blot usando anticuerpos anti-his. Los cuerpos de inclusión (obtenidos por ruptura mecánica) solubilizados se purificaron usando una columna de agarosa Ni-NTA. Las proteínas fueron liofilizadas y se cuantificaron con el método de Bradford para obtener el rendimiento correspondiente para su uso posterior.

Resultados y discusión

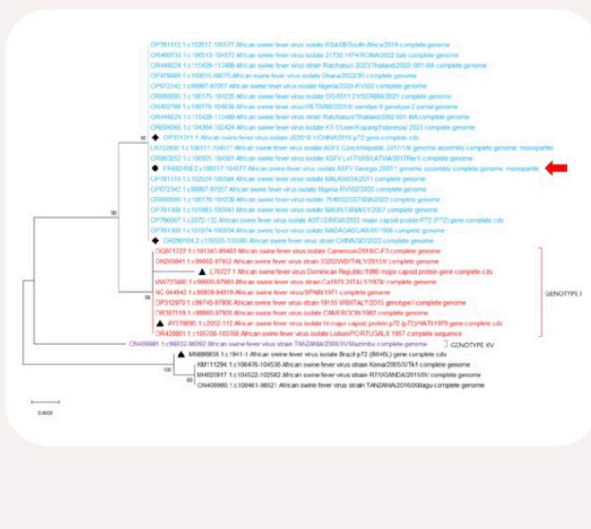
Análisis bioinformático

El análisis bioinformático de la secuencia nucleotídica y proteica de Georgia 2007 p30 y p72, mostró que este aislamiento se encontraba dentro del genotipo II del virus de PPA, en el mismo genogrupo de las secuencias reportadas durante los últimos brotes de PPA, en los últimos 10 años incluyendo República Dominicana 2021, mostrando una homología del 100% (Figura 1). El análisis bioinformático de la secuencia nucleotídica y proteica de Georgia 2007-p30 indicó un 97.85% encontraba dentro del genotipo II (Figura 1).

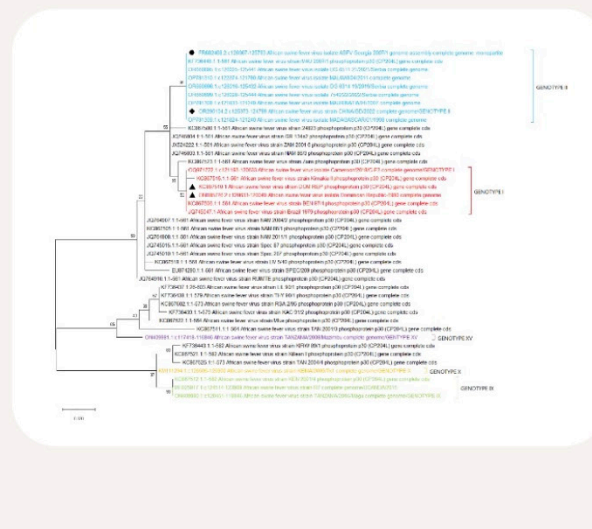
Figura 1.

A) Árbol filogenético de la proteína p72 de PPA; el genogrupo I se muestra en color rojo y el genogrupo II en color azul, la flecha roja indica la posición de la secuencia de la proteína de este estudio (Georgia 2007). La historia evolutiva se infirió utilizando el método de máxima verosimilitud y el modelo basado en la matriz JTT. Este análisis involucró 34 secuencias de aminoácidos. Hubo un total de 647 posiciones en el conjunto de datos final. B) Análisis de la proteína p30 del virus de PPA. La historia evolutiva se infirió utilizando el método de máxima verosimilitud y el modelo basado en la matriz JTT. Se utilizó una distribución Gamma discreta para modelar las diferencias en la tasa evolutiva entre sitios (5 categorías (+G, parámetro = 0,3667)). Este análisis involucró 42 secuencias de aminoácidos. Hubo un total de 194 posiciones en el conjunto de datos final. Los árboles están dibujados a escala, con longitudes de rama medidas en el número de sustituciones por sitio. Los análisis evolutivos se llevaron a cabo en MEGA X. ☒ Cepas reportadas en América; ☒ Cepa de referencia Georgia 2007; ☒ Cepas reportadas en China.

A)



B)



Caracterización *in silico* de la antigenicidad de la proteína p72

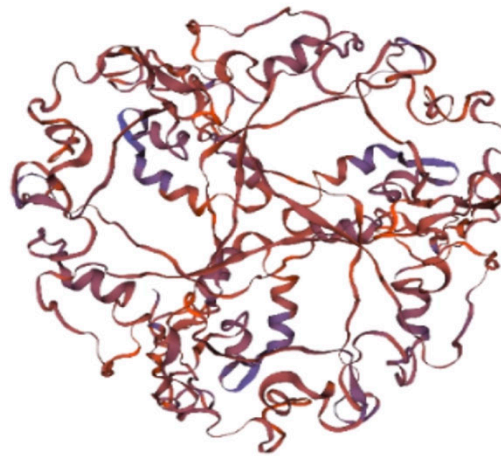
La secuencia completa de la proteína p72 está conformada por 646 residuos de aminoácido y un peso de 73.155 kDa. El fragmento de proteína presenta un peso de 28.651 kDa con 254 residuos de

aminoácido, comienza con el ácido glutámico (Glu, E) en el residuo 73 y termina con prolina (Pro, P) en el residuo 326, seleccionada de la región N-terminal con el mayor índice de antigenicidad, de probabilidad de superficie, con regiones hidrofílicas, con presencia de 10 determinantes antigénicos (epítomos) y 1 sitio glicosilado (**Figura 2**).

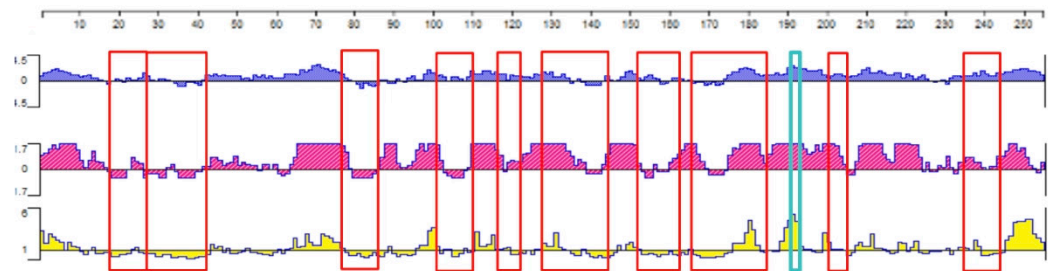
Figura 2.

Proteína p72 de la peste porcina africana (A) Estructura tridimensional del fragmento N-terminal seleccionado como mejor candidato a expresión. B) Algoritmos de p72; azul: Hidrofilicidad a partir del algoritmo Kyte-Doolittle; Amarillo: Probabilidad de superficie; Rosa: índice de antigenicidad. Seleccionadas en recuadro color rojo se remarcan los determinantes antigénicos y en color verde el sitio glicosilado. C) Predicción de un único sitio glicosilado en el fragmento de la proteína.

A)

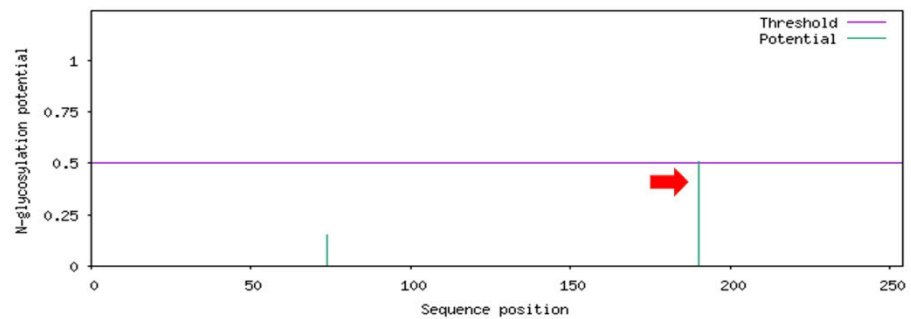


B)



NetNGlyc 1.0: predicted N-glycosylation sites in Sequence

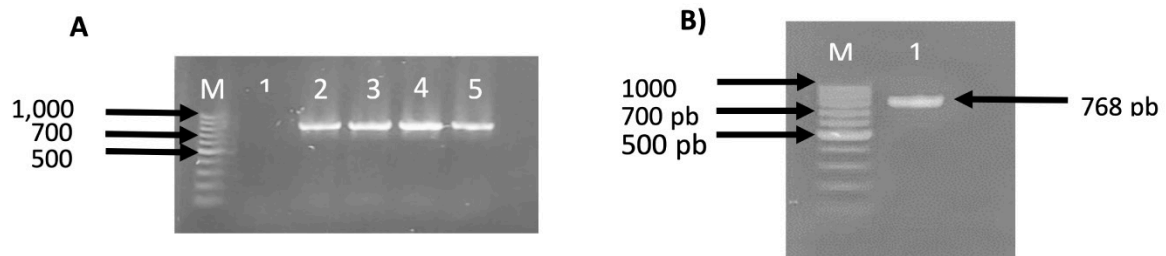
C)



Como se observa en la **Figura 2**, se obtuvo un modelo propuesto basado en la estructura de la proteína p72 con un porcentaje de homología mayor al 30% (97.64%), donde se predice una estructura circular, con ~14 colas y estructura secundaria de ~9 hélice alfa. De los logaritmos se observó una alta hidrofiliidad en la región proteica, lo que permite una mayor solubilidad de la proteína, con una probabilidad de superficie de 3, con 14 regiones antigénicas, 10 epítomos y la predicción de un sitio glicosilado (señalado con una flecha color rojo). Con el análisis de los residuos hidrofílicos e hidrofóbicos a lo largo de la secuencia, la probabilidad de superficie y antigenicidad se pudo seleccionar una región del extremo N-terminal de la proteína p72 como una proteína antigénica que contiene los epítomos más inmunogénicos y mejores candidatos para clonación y expresión de manera recombinante en el vector pET SUMO. Posteriormente, se diseñaron un par de oligonucleótidos que amplifiquen este fragmento de proteína, donde las secuencias 5'- GAA TAC AAT AAA GTA CGC CCG CAT ACG -3' y 5'- CTA CTA AGG GGG CTG ATA GTA TTT AGG GGT -3' corresponden al oligonucleótido forward y reverso, respectivamente. Para ambos cebadores, todos los valores de ΔG en la formación de horquillas y autodímeros son mayores a -5 (no significativos), con un porcentaje de CG de 44.4 y 46.7%, y una diferencia de temperaturas de 2.2°C. La mejor temperatura de alineación fue la del carril 4 (67.6°C) (Figura 3).

Figura 3.

Amplificación mediante PCR del gen B646L. A) Gradiente de temperaturas. M) Marcador de pares de bases 100 pb. 1) Control negativo. 2) 63.5°C. 3) 64.3°C. 4) 67.6°C. 5) 71.7°C. B) Amplificación de la proteína p72. M) Marcador de pares de bases 100 pb. 1) Amplificación del gen B646L.

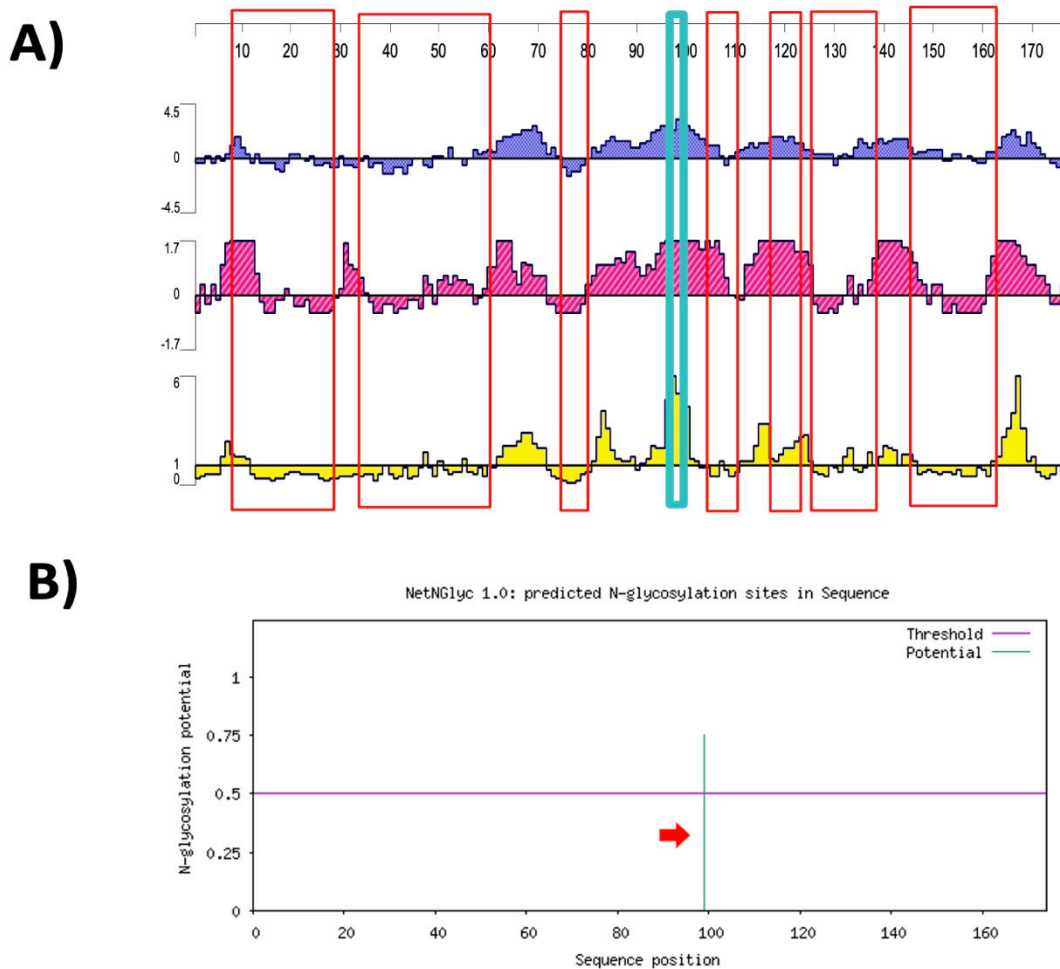


Caracterización in silico de la antigenicidad de la proteína p30

Por otro lado, la secuencia completa de la proteína p30 está conformada por 194 residuos de aminoácido y un peso de 22.39 kDa. La proteína amplificada presenta un peso de 19.983 kDa con 174 residuos de aminoácido, comienza con el ácido glutámico (Glu, E) en el residuo 12 y termina con leucina (Leu, L) en el residuo 186, se analiza el índice de antigenicidad, de probabilidad de superficie y las regiones hidrofílicas de la región, con presencia de 7 determinantes antigénicos (epítomos) y 1 sitio glicosilado (**Figura 4**).

Figura 4.

Proteína p30 de la peste porcina africana. A) Algoritmos de p30; azul: Hidrofilicidad a partir del algoritmo Kyte-Doolittle; Amarillo: Probabilidad de superficie; Rosa: índice de antigenicidad. Seleccionadas en recuadro color rojo se remarcan los determinantes antigénicos y en color verde el sitio glicosilado. B) Predicción de un único sitio glicosilado en la proteína.

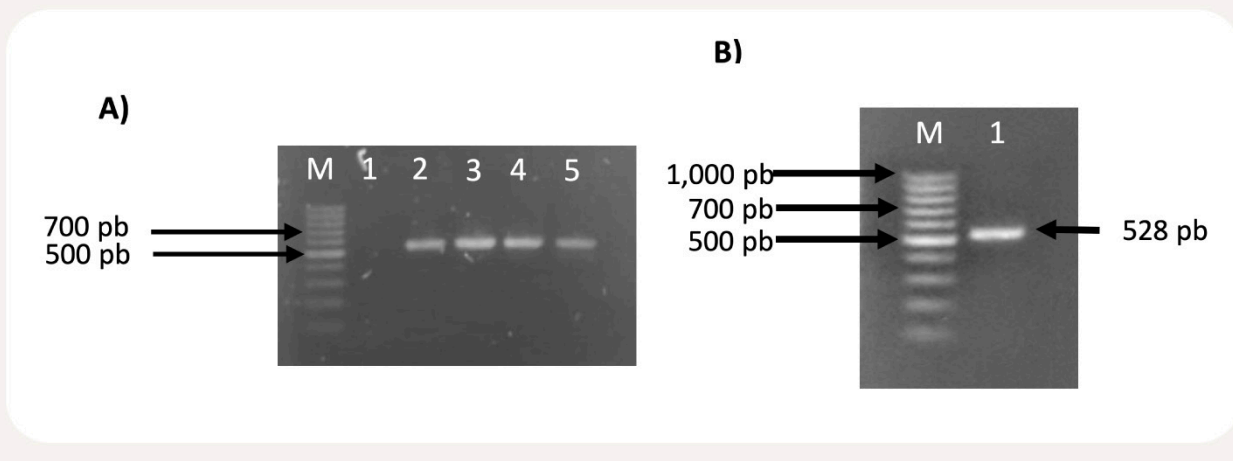


Como se observa en la Figura 4, en los logaritmos se observó una alta hidrofilicidad en la región proteica, lo que sugiere una mayor

solubilidad de la proteína, con una probabilidad de superficie de 2, con 7 regiones antigénicas, 7 epítomos y la predicción de un sitio glicosilado (señalado con una flecha color rojo). Con el análisis de los residuos hidrofílicos e hidrofóbicos a lo largo de la secuencia, la probabilidad de superficie y antigenicidad se puede analizar la proteína p30 como una proteína antigénica que contiene epítomos inmunogénicos ideales para clonación y expresión de manera recombinante en el vector pET SUMO. Posteriormente, se diseñaron un par de oligonucleótidos que amplifiquen esta proteína, donde las secuencias 5'-GAG GTC ATC TTC AAA ACG GAT-3' y 5'-CTA CTA GAG TCT TAC CAC CTC -3' corresponden al oligonucleótido forward y reverso, respectivamente. Para ambos cebadores, todos los valores de G en la formación de horquillas y autodímeros son mayores a -5 (no significativos), con un porcentaje de CG de 42.9 y 47.6%, y una diferencia de temperaturas de 1.8°C. La mejor temperatura es la del carril 3 (61.8°C). (Figura 5).

Figura 5.

Amplificación mediante PCR de CP204L. A) Gradiente de temperaturas. M) Marcador de pares de bases 100 pb. 1) Control negativo. 2) 59°C. 3) 61.8°C. 4) 64.5°C. 5) 67.1°C. B) Amplificación del gen CP204L. M) Marcador de pares de bases 100 pb. 1) Amplificación del gen CP204L.



Expresión de las proteínas por *E. coli* BL21

Se obtuvieron 4 colonias de *E. coli* expresoras de p30 que se indujeron con IPTG (isopropil β -D-1-tiogalactopiranosido). Para la detección y análisis de dichas proteínas una vez expresadas en el cultivo, se usan técnicas como la tinción coomassie y Western blot. Con la tinción coomassie se puede conocer, el peso molecular de la proteína de interés; en este caso, para la p30 es de 33 kDa y para la p72, de 42 kDa. **(Figura 6 y 7)**

Figura 6.

Expresión de la proteína p30. A) Tinción coomasie. M) Marcador de peso molecular 5-245 kDa. 1) Control negativo. 2) Control positivo. 3) Colonia 1. 4) Colonia 2. 5) Colonia 3. 6) Colonia 4. B) Western blot. M) Marcador de peso molecular 5-245 kDa. 1) Control negativo. 2) Control positivo. 3) Colonia 1. 4) Colonia 2. 5) Colonia 3. 6) Colonia 4.

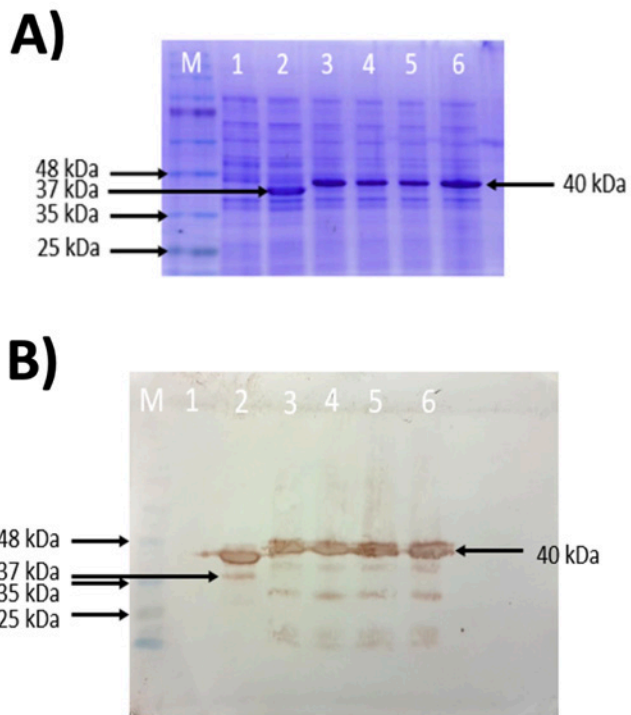
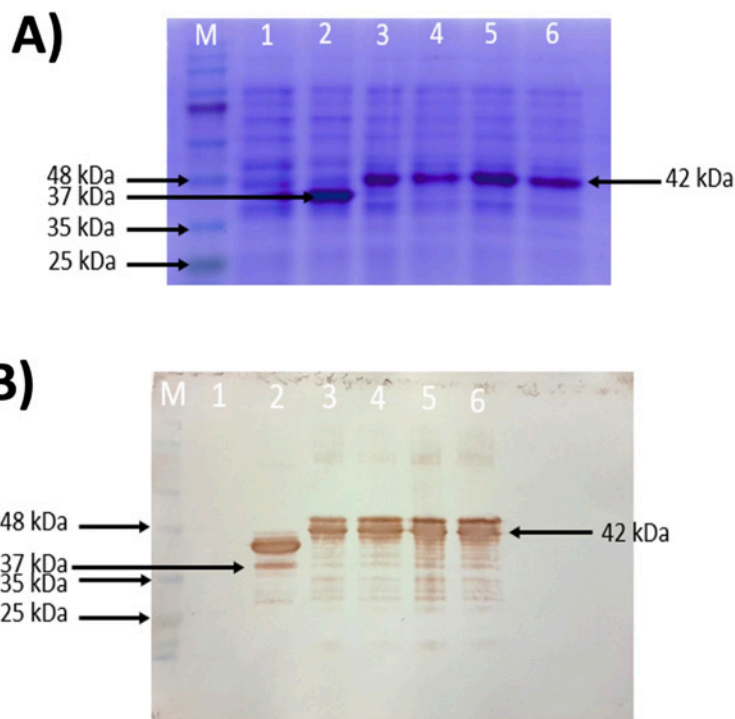


Figura 7.

Expresión de la proteína p72. A) Tinción coomasie. M) Marcador de peso molecular 5-245 kDa. 1) Control negativo. 2) Control positivo. 3-6) Colonia 1-4. B) Western blot. M) Marcador de peso molecular 5-245 kDa. 1) Control negativo. 2) Control positivo. 3-6) Colonia 1-4.



Purificación de las proteínas

Como se puede observar en la figura anterior, la mayor parte de la proteína P72 se encuentra en forma de cuerpos de inclusión, que corresponde a la fase insoluble, por lo que es necesario llevar a cabo los procesos de solubilización para su purificación. Después de la purificación mediante cromatografía IMAC de los cuerpos de inclusión se analizó el proceso mediante SDS-PAGE y WB. donde se puede observar que se recuperó la proteína p72 y p30 en las eluciones en un solo paso de purificación y la ausencia de la misma

en las muestras de no pegado y lavado indica que la proteína de interés está siendo purificada correctamente (**Figura 8 y 9**).

Figura 8.

Purificación de p72 a partir de cuerpos de inclusión. A) Tinción con coomassie y B) Western blot. 1) Control positivo. 2) Expresión celular de BL21-P72. 3) Cuerpos de inclusión. 4) No pegado. 5) Lavado. 6-10) Eluciones de la columna.

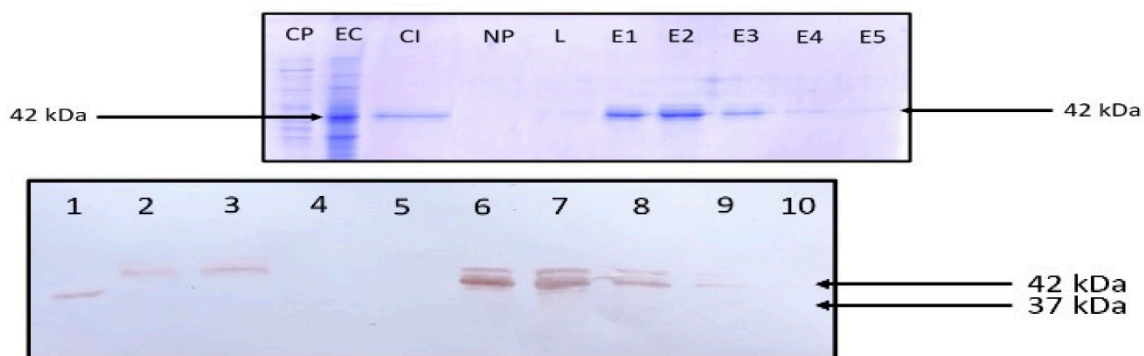
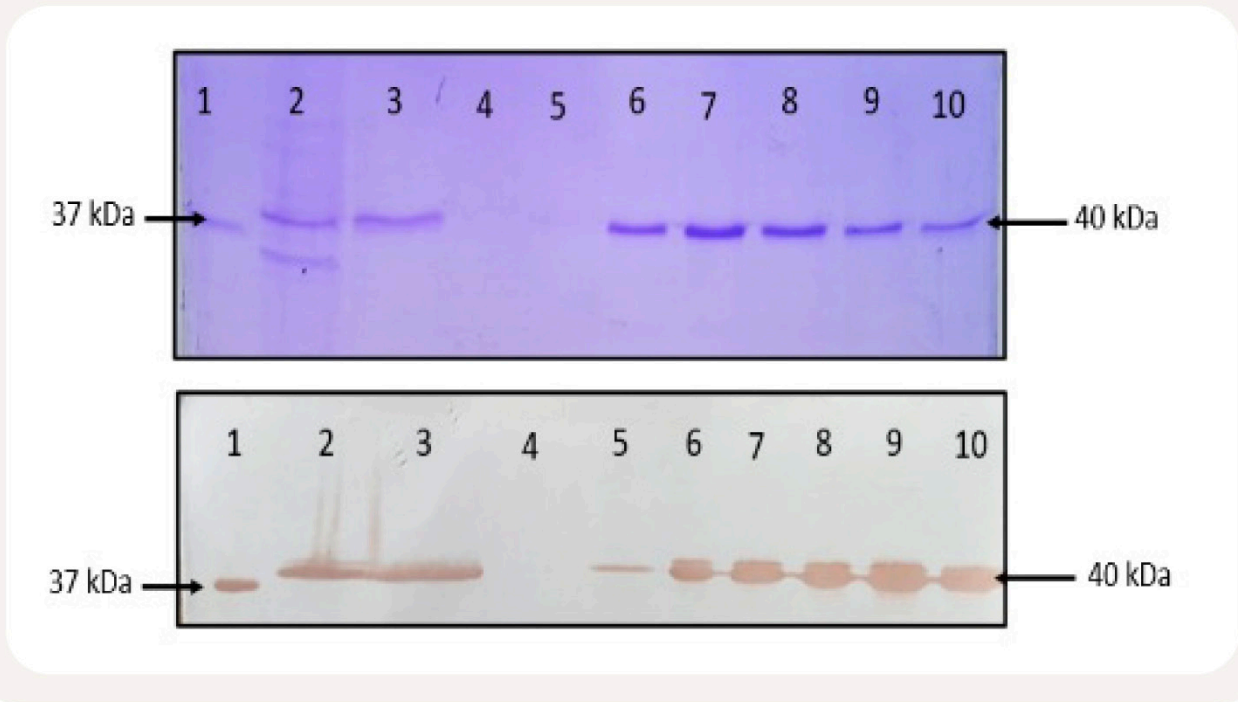


Figura 9.

Purificación de p30 a partir de cuerpos de inclusión. A) Tinción con coomasie y B) Western blot. 1) Control positivo. 2) Expresión celular de BL21-P30. 3) Cuerpos de inclusión. 4) No pegado. 5) Lavado. 6-10) Eluciones de la columna.



Cuantificación y rendimiento de p72 y p30

Las proteínas fueron dializadas para eliminar sales y se procedió a su cuantificación. Para la cuantificación de la concentración de proteína, se realizó la curva de calibración de Bradford usando una curva de BSA como estándar. La ecuación de la recta para la regresión fue $y=0.013x+0.197$ con $R^2=0.9719$. La concentración de proteína p72 fue de 40.73 g/mL, con un rendimiento de 230.807 g/100 mL de cultivo. La concentración de proteína p30 fue de 30 g/mL, con un rendimiento de 555 g/100 mL de cultivo.

Conclusiones

En este trabajo se caracterizó de manera *in silico* la antigenicidad de la proteína p72 y p30 de la peste porcina africana para predecir los sitios antigénicos y seleccionar la región proteica apropiada para la expresión en *E. coli* y se logró generar un sistema de expresión recombinante derivado de dichas proteínas que pueda ser utilizado en un futuro como una herramienta de diagnóstico de la enfermedad. De esta forma se solidifica el primer desarrollo biotecnológico en México, basado en genes sintéticos de PPA, estudiados y producidos en colaboración con Canadá-USA y España para la atención de la enfermedad en caso de un brote en México, para el desarrollo de sistemas diagnósticos sensibles y específicos como medida preventiva para el país, que permita la identificación temprana y a gran escala de la PPA en laboratorios de nivel 2 de bioseguridad en México.

Agradecimientos y fuente financiera

El presente trabajo se llevó a cabo en el CENID-SAI, Laboratorio de Epizootiología, sede Palo Alto, Ciudad de México. Fue parcialmente financiado por el proyecto: “Proyectos de apoyo a la Investigación, PROCINORTE, No. SIGI: 1259436381”. Beca CONAHCYT CVU: 1139465.

Bibliografía

Ji. C., Jiang, J., Wei, Y., Wang, Z., Chen, Y., Mai, Z., Cai, M., Qin, C., Cai, Y., Yi, H., Liang, G., Lu, G., Gong, L., Zhang, G. and Wang, H. (2021). A Method for the Analysis of African Swine Fever by Viral Metagenomic Sequencing. Rev. Front. Vet. Sci. 8:766533. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.766533>

Sun, W., Zhang, H., Fan, W., He, L., Chen, T., Zhou, X., Qi, Y., Sun, L., Hu, R., Luo, T., Liu, W. and Li, J. (2021). Evaluation of Cellular Immunity with ASFV Infection by Sw Antigen (SLA)—Peptide Tetramers. *Rev. Viruses*; 13(11): 2264. <https://doi.org/10.3390/v13112264>

Wu, K., Zhang, Y., Zeng, S., Liu, X., Li, Y., Li, X., Chen, W., Li, Z., Qin, Y., Chen, J., Fan, S. (2022). Development and Application of RAA Nucleic Acid Test Strip Assay and Double RAA Gel Electrophoresis Detection Methods for ASFV and CSFV. *Rev. Front Mol Biosci.* Jan 31;8:811824. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.811824>

Días no productivos y su efecto en la productividad en una granja porcina de 3,000 cerdas en el centro del país

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como objetivo demostrar que el trabajo constante en el cumplimiento de cargas, el reemplazo adecuado de cerdas y la alimentación durante la lactancia influyeron en la reducción de Días No Productivos (DNP) y en la productividad general de la granja (Destetados por mes) tiene un efecto positivo en el incremento de la productividad y rentabilidad en las granjas porcinas.

La porcicultura como cualquier negocio tiene el objetivo de generar ingresos sobre la inversión realizada, pero, particularmente al trabajar con animales el riesgo sanitario es constante.

La forma de mitigar este riesgo es por medio de controles estrictos de bioseguridad, que a pesar las enfermedades pueden presentarse en los animales, por lo que, independientemente del estatus sanitario y condiciones de la granja, debemos tener claro el objetivo de hacer mas eficiente el hato reproductivo con el que se trabaja.

MATERIAL Y METODO

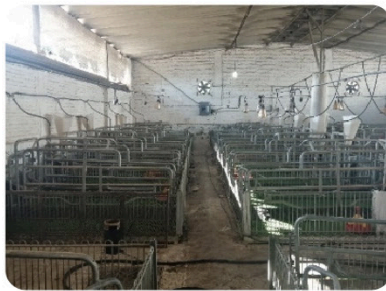
Este trabajo se desarrolló a lo largo de 70 meses (2017-07-01 a través de 2023-04-30), se compara con el resultado de los 19 meses previos (enero del 2017 a agosto 2018) al inicio del nuevo programa de trabajo (agosto de 2018 hasta abril del 2023).

La granja está localizada en el centro del país, con un inventario en promedio de 3,000 vientres. Positiva a PRRS, Mycoplasma, Glaserella parasuis, Actinobacillos pleuroneumoniae, Circovirus porcino. Durante los meses de inicio del trabajo se presentaron brotes de PRRS, App y Circovirus.

Las instalaciones se han modificado a lo largo de más de 30 años que tiene la granja y existe una gran diversidad de modelos de maternidad (tipo de jaula, número de jaulas por sala, tipo de sala y tamaño de sala); los destetes son de 3 tipos diferentes (algunos con piso plástico y otros con slat de cemento) y las engordas en general son muy parecidas, pero la orientación es muy variable.

Maternidades:

AREA	SALA	CAPACIDAD JAULAS
	1	30
	2	52
	3	15
	4	24
	5	20
	6	48
	7	56
	8	39
	9	40
	10	40
	11	52
	12	56
	13	48
	14	88
	15	78
TOTAL	15	686



Las cerdas se gestan en jaula los primeros 35 días y posteriormente pasan a corral para la gestación tardía. Algunos corrales eran de engordas viejas en donde se alojan 16 cerdas y el resto de los corrales varían entre 20 a 40 cerdas por corral. La alimentación se hace sobre el piso de cemento.



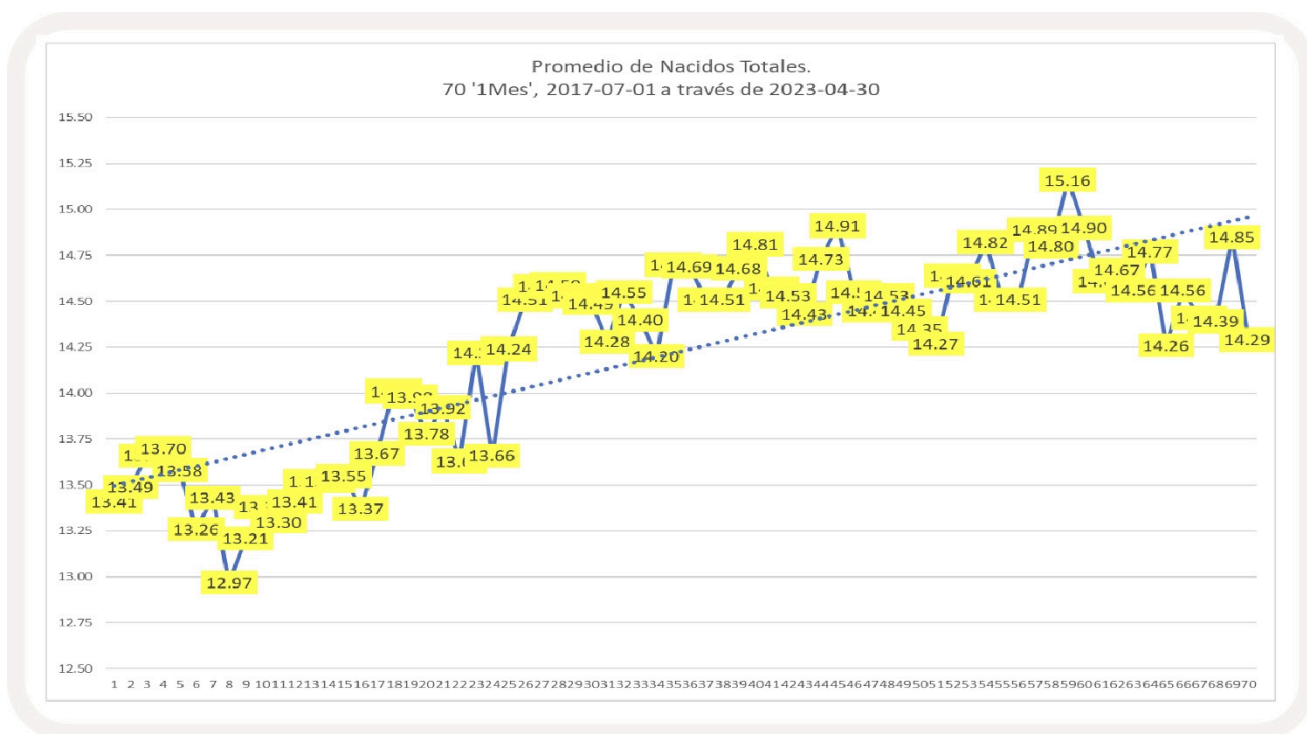
El presupuesto de cargas se estableció en 142 partos por semana. Para cumplir con el presupuesto de cargas se tenía considerado tener siempre alrededor de 30 cerdas primerizas para hacer el reemplazo semanal.

A cada cerda de los grupos de gestación se le hacía un análisis de productividad y se programaba su desecho y al momento del parto se hacía una segunda evaluación para que al momento del destete se considerara realmente las cerdas que se requerían para cumplir el presupuesto de cargas semanal (160 \pm 3).

Desde el inicio del nuevo programa de trabajo, se incrementó la cantidad de alimento durante la lactancia, teniendo un promedio de 5.8 Días de Destete a 1er servicio y con más del 91% de cerdas cargadas antes de 7 días post destete.

Semanalmente se eliminaban las cerdas con mas de 25 días vacías, las cerdas abortadas, improproductivas y viejas.

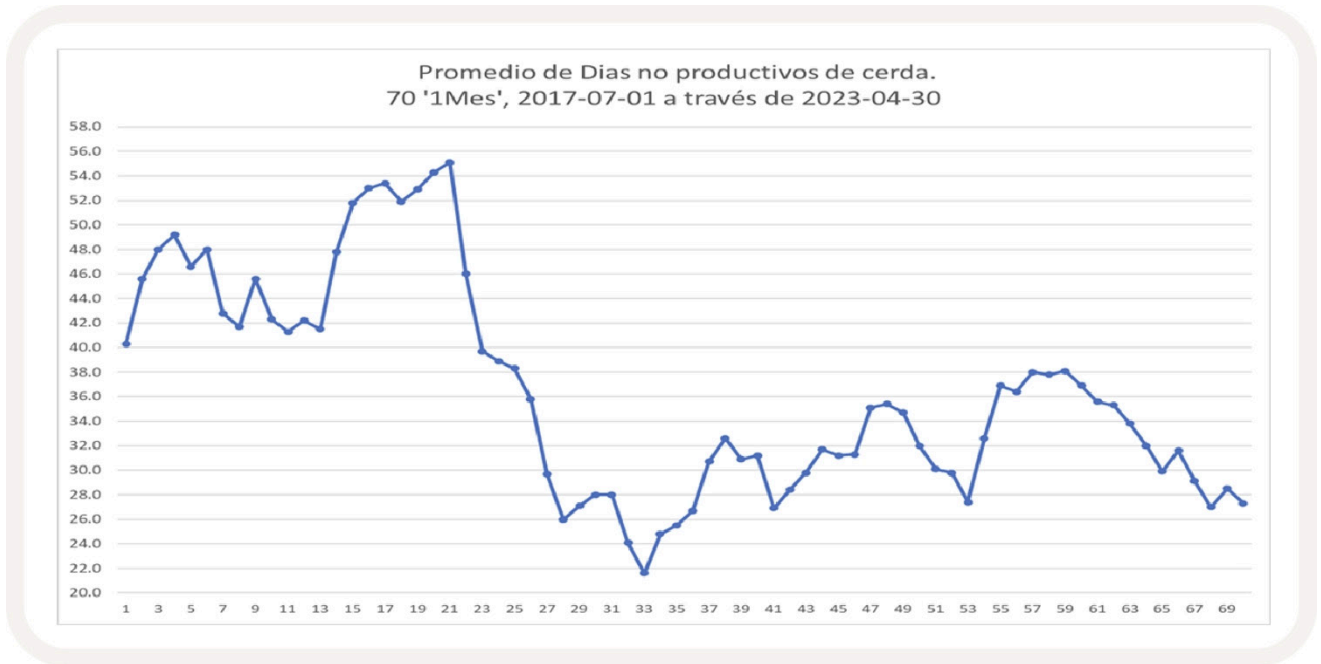
Este trabajo de selección de cerdas nos permitió lograr constantemente un incremento en el tamaño de la camada.



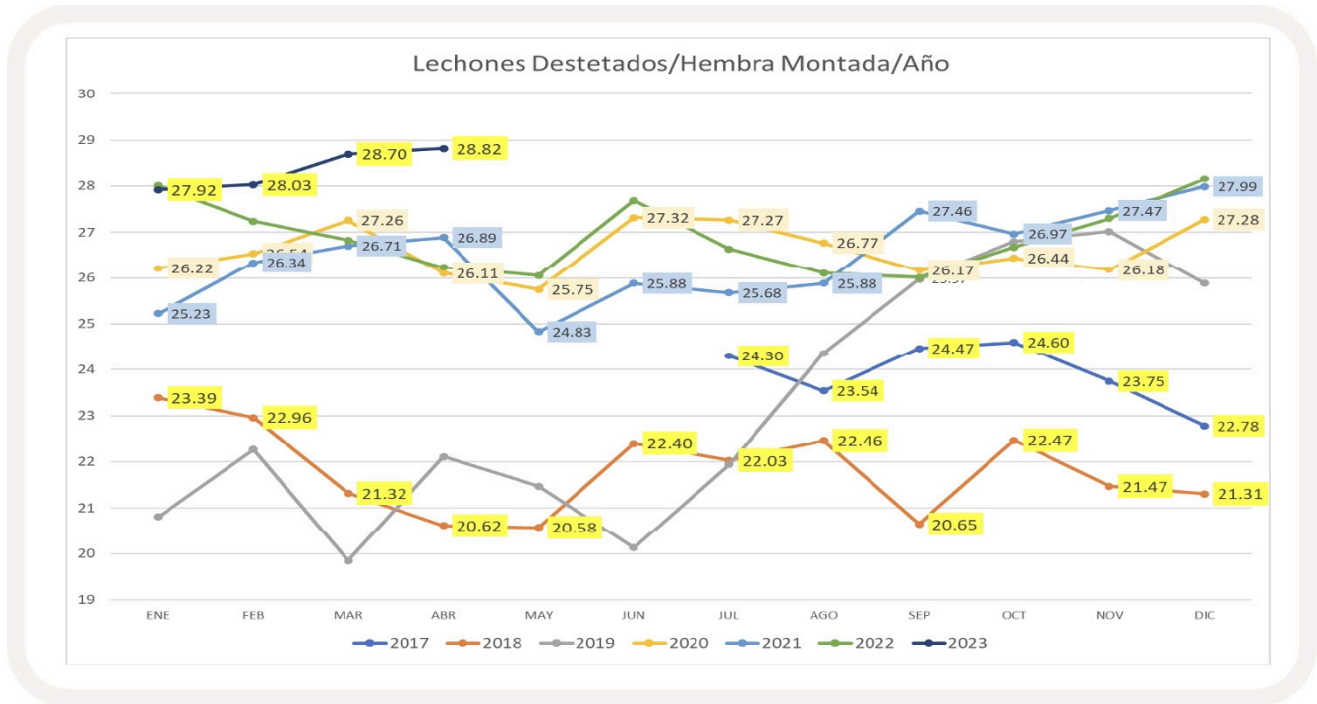
Con el incremento en el tamaño de la camada y la eficiencia productiva de la cerda al tener menos DNP que se muestra en el siguiente gráfico, permitió que se tuvieran más lechones destetados de manera creciente y constante.

En el gráfico siguiente se muestra la reducción significativa de los DNP por cerda a partir del mes 21 (2 meses posteriores al inicio del nuevo programa de trabajo), el incremento de DNP de la semana 55

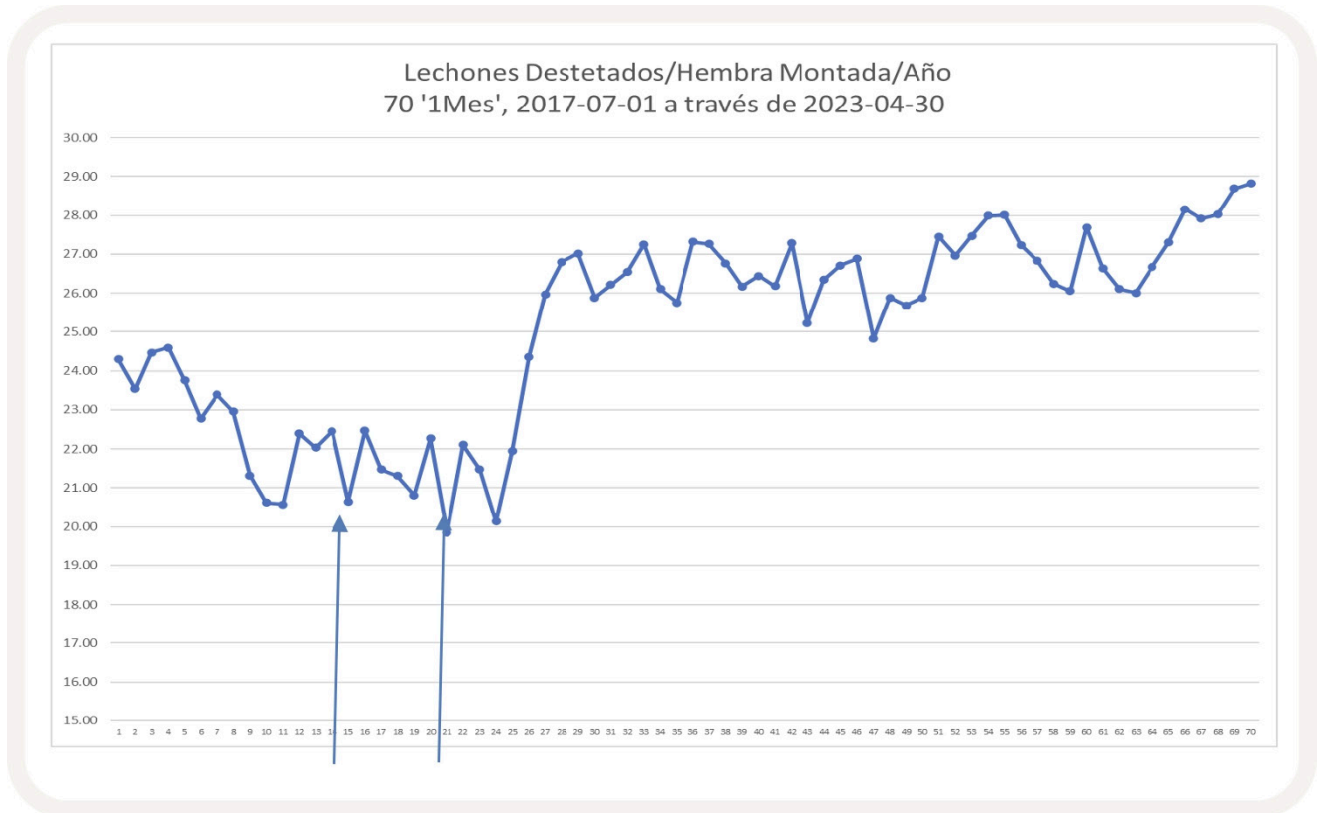
a 61 están relacionados con el brote de PRRS que se presentó en la granja.



En el siguiente gráfico me muestra por año el avance que se tuvo en el rubro de Destetados por Hembra por año (DHA).



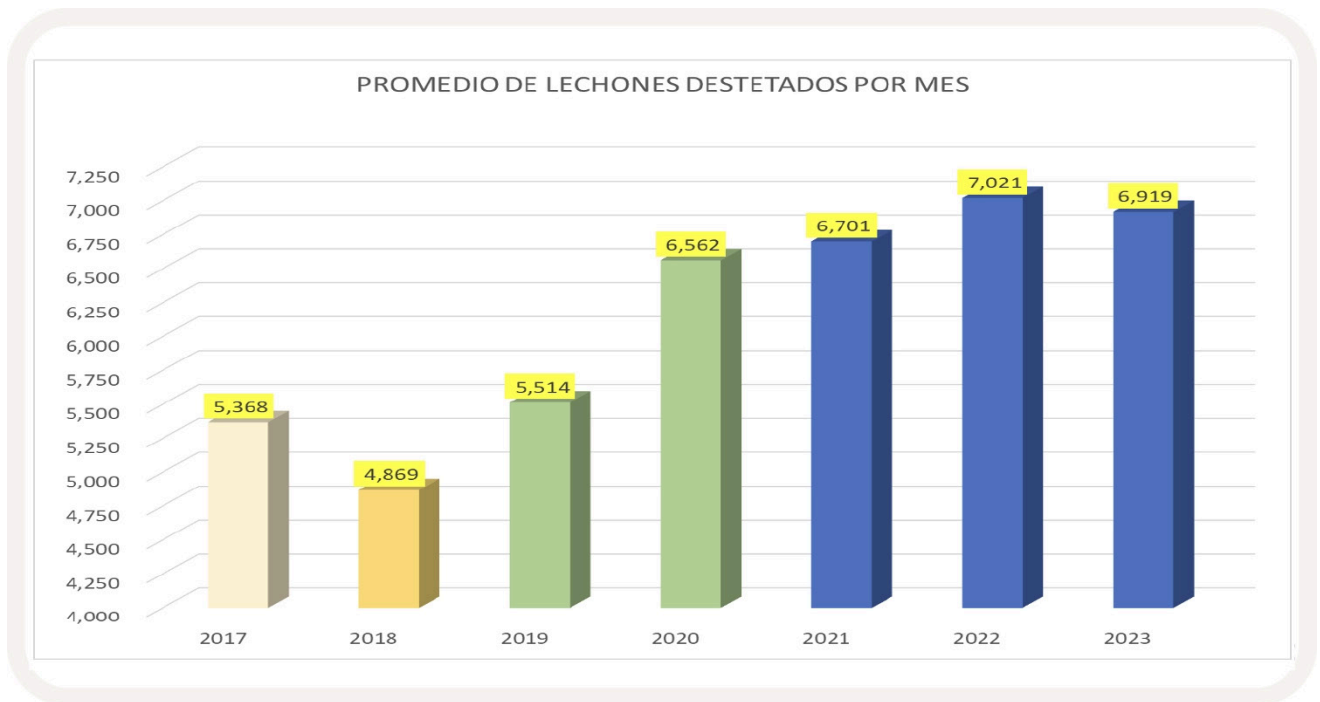
En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del incremento de DHA a lo largo de los 70 meses, en el mes 27 se nota un incremento significativo contra lo que se venía obteniendo de resultado para que al final de este análisis, el resultado fue de 28.82 DHA.



En el cuadro siguiente se muestra el comportamiento por mes y año del número de lechones destetados por mes, pasando de 5,000 a 7,000 lechones por mes, con el mismo inventario de cerdas (+/-50)

NUMERO DE LECHONES DESTETADOS POR MES (2017-2023)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
2017							5,567	5,281	5,259	4,906	5,443	5,750	5,368
2018	4,984	4,401	4,695	4,473	4,374	5,278	4,933	5,390	3,906	6,185	5,331	4,477	4,869
2019	4,969	4,520	4,973	5,248	5,100	4,858	5,509	5,939	5,797	6,388	5,969	6,902	5,514
2020	6,013	6,648	6,613	5,692	6,203	7,045	7,581	6,919	6,055	6,581	6,560	6,837	6,562
2021	6,408	6,486	7,466	5,710	6,537	6,712	5,736	7,234	6,471	6,912	6,829	7,907	6,701
2022	7,505	6,859	7,633	7,044	6,908	7,111	6,835	6,608	6,830	6,822	7,122	6,974	7,021
2023	7,025	5,960	8,410	6,281									6,919

En el gráfico siguientes podemos observar ver la producción de lechones destetados promedio por mes.



Haciendo una diferencia entre la producción que se tenía en el 2017 y 2018 vs los años siguientes tenemos el siguiente cuadro.

PROMEDIO DE LECHONES DESTETADOS POR MES				
AÑO	PROMEDIO MES	PROMEDIO 17-18	DIFERENCIA PROMEDIO 17-18 VS AÑO	ACUMULADO POR AÑO
2017	5,368			
2018	4,869	5,035		
2019	5,514		479	5,750
2020	6,562		1,527	18,325
2021	6,701		1,666	19,986
2022	7,021		1,986	23,829
2023	6,919		1,884	7,535
DIFERENCIA ACUMULADA DEL 2019 AL 2023				75,425

En resumen, se logró producir alrededor de 75,425 lechones extras desde el inicio del trabajo en esta granja.

Si le damos un valor promedio de \$40 USD por lechón destetado, el ingreso adicional generado a lo largo de 51 meses fue de \$3,017,000 US dólares.

CONCLUSION.

La reducción de Días No Productivos como “costo de oportunidad”, permite una mejora en la eficiencia productiva y una mejora substancial en los ingresos de la granja. Este objetivo de la reducción de DNP deberá estar siempre acompañado del cumplimiento estricto del presupuesto de cargas.

MENSAJE PROFESIONAL.

No hay pretextos para producir más de 30 Destetados/Hembra/Año, ya que independientemente del estatus sanitario de las granjas y sus instalaciones, es posible lograr el objetivo de una mejora continua si se trabaja con un presupuesto establecido y cumplimiento del mismo. Al final del trabajo de noviembre 2022 a 2023 (26 semanas) la granja termino destetando 29.8 lechones por cerda, con una productividad de 2.54 Partos/Hembra/Año (lamentablemente no tengo esa información en mi poder).

Evaluación del bienestar animal en cerdos criados en sistemas de traspatio en Ahuacatlán, Puebla

Introducción.

La carne de cerdo tiene un consumo significativo resaltando que la demanda ha crecido en forma directa para uso industrial a nivel mundial (Becerril *et al.*, 2009). En México es la segunda carne más consumida, con 305 mil toneladas anuales (SENASICA, 2024). A nivel de traspatio es un animal que se cría como fuente de ahorro, como animal para proveer carne eventos sociales o religiosos (Nava Hernández *et al.*, 2019). Sin embargo, no se le da importancia a la calidad y al tema de bienestar de los animales en países en desarrollo y sobre todo a nivel de sistemas de crianza de traspatio. De acuerdo con la OMSA (2024) el bienestar animal (BA) es un tema complejo con múltiples dimensiones científicas, éticas, económicas, culturales, sociales, religiosas y políticas (Godyn *et al.*, 2021; OMSA, 2024).

El bienestar animal es un concepto que ha tomado mucho interés de manera creciente en la sociedad civil. Las ventajas del bienestar animal en la producción son muchas, una de ellas es la base principal al momento de realizar cualquier tipo de producción pecuaria, ya que brinda excelentes rendimientos a las granjas (Becerril *et al.*, 2009; Faria *et al.*, 2023).

Entre las ventajas del bienestar animal en la producción de cerdos, podemos encontrar la reducción del estrés y el sufrimiento, aumento de la productividad y el rendimiento del producto que se va a comercializar, asimismo, se incrementa la competencia con los demás mercados (OMSA, 2024).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el bienestar animal en la crianza de cerdos a nivel de traspatio en la localidad de Ahuacatlán, Puebla y proponer recomendaciones a los pequeños productores para mejorar las buenas prácticas y el bienestar animal en la crianza de cerdos de traspatio.

Material y métodos.

Área de estudio. El trabajo se realizó en granjas de traspatio de cerdos en Ahuacatlán, Puebla. Esta localidad se ubica en la sierra norte de Puebla, presenta un clima húmedo, con lluvias en verano y otoño y la precipitación anual es de 1800 mm. La producción de cerdos se realiza en pequeñas explotaciones de traspatio y la venta de carne se realiza directamente en el poblado (Obs. Pers.). La carne de cerdo es la que más se consume en esta localidad. La matanza de cerdos se realiza sin ninguna supervisión de autoridades de la salud veterinaria o humana.

Para evaluar el BA se siguieron los protocolos de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) y el protocolo de la Welfare Quality[®] sobre bienestar animal en sistemas de producción pecuaria. Se visitaron 6 productores locales quienes colaboraron de manera voluntaria para realizar las observaciones en sus granjas.

El código terrestre de BA de la OMSA considera los siguientes indicadores: a) comportamiento; b) tasa de morbilidad, tasa de mortalidad y eliminación selectiva; c) cambios de peso y condición corporal; d) eficiencia reproductiva; e) aspectos físicos y respuesta al manejo; f) presencias de cojeras y g) complicaciones resultantes de procedimientos de rutina.

El protocolo de la Welfare Quality[®] establece 4 categorías para evaluar el BA en animales de producción. 1) Alimentación (ausencia de hambre y sed prolongada); 2) Alojamiento (confort con relación al descanso, confort térmico y facilidad de movimiento); 3) Estado sanitario (ausencia de lesiones, ausencia de enfermedades y ausencia de dolor por causa del manejo); 4) Comportamiento (expresión de comportamiento social adecuado, expresión adecuada de otras conductas, relación humano animal-positiva y estado emocional positivo).

Se asignaron valores de 1 a 5 a los criterios de producción de cerdos para evaluar los protocolos de la OMSA y de la Welfare Quality[®]. El valor de 4 y 5 indican que existen las condiciones ideales para un buen BA. Mientras que el número 1 y 2 indica nulo o pobre bienestar animal en las producciones de cerdos de traspatio.

Resultados.

En la tabla 1 se presenta el concentrado de los indicadores de acuerdo con la OMSA. Este protocolo de BA se basa principalmente en evaluar los parámetros de manejo y comportamiento, instalaciones y aspectos sanitarios. Así como las tasas de

morbilidad, mortalidad y temas de enfermedades de diferente etiología.

Las letras en mayúscula en las tablas representan a los 6 productores de traspatio que participaron de manera voluntaria. Se decidió identificarlos así, para guardar el anonimato por el tema del proteccionismo animal.

De acuerdo con la escala de la OMSA para evaluar el BA, el valor máximo para cada uno de los criterios es de 45 puntos. Para el protocolo de la Welfaer Quality[®], la suma total de todos los criterios es de 60 puntos.

Resultados del bienestar animal de acuerdo con el protocolo de la OMSA

La OMSA toma como eje central los comportamientos desarrollados por los cerdos, las características de las instalaciones, acceso al agua y alimento y demás aspectos del sistema de producción. En este sentido, en 5 granjas, excepto el productor B, los cerdos de todas las edades presentaron conductas consideradas normales, de acuerdo con los parámetros de la OMSA y de la WQ.

Los productores D (42 puntos), C (39 puntos) y A (37 puntos) fueron los que tuvieron la mayor puntuación en su sistema de producción de acuerdo con los criterios el BA. Por lo tanto, su sistema de cría de cerdos se apega a las buenas prácticas de producción y al bienestar animal. En cambio, los productores B, E y F obtuvieron 15, 24 y 36 del total de los puntos, respectivamente. El productor B es

el que presenta el nivel más bajo de bienestar animal, ya que solo obtuvo 15 puntos de 45.

Los cerdos del productor B, las pautas de comportamiento se manifestaron por conductas de agresión (mordeduras), por una tasa de mortalidad >8%, algunos cerdos presentaron cojeras y hernias umbilicales en cerdos a finalización (Figura 4).

Tabla 1.

Resultados de la evaluación del bienestar animal en granjas de traspatio.

Criterios de evaluación del BA (OMSA)	A*	B*	C*	D*	E*	F*
Comportamiento	5	3	5	5	4	5
Tasa de morbilidad	5		2	5	3	3
Tasa de mortalidad y eliminación selectiva	3	ND	3	5	ND	5
Cambios de peso y condición corporal	5	ND	4	5	4	ND
Eficiencia reproductiva	4		5	5	DN	4
Aspectos físicos	4	2	5	4	4	5
Respuesta al manejo	4	4	5	4	4	5
Presencia de cojeras	5	3	5	4	1	4
Complicaciones resultantes de procedimientos de rutina.	4	3	3	5	4	5
Puntuación Total	39/45	15/45	37/45	42/45	24/45	36/45

*Corresponden a los productores (n=6) que colaboraron con información. Con la finalidad de mantener el anonimato a la sensibilidad a los derechos animales y del bienestar animal.

ND. Información no disponible. La tabla se elaboró con datos propios de las visitas y entrevistas a los productores de traspatio.

Análisis de los criterios de evaluación del BA en sistemas de traspatio.

Comportamiento. En este criterio se consideraron las conductas propias de la especie, como los gruñidos que emiten en situaciones

de estrés asociadas a eventos de peligro, por estímulos olfativos, visuales o auditivos. Otras interacciones positivas como el correteo, las montas, el hozamiento y conductas negativas, como morderse la cola, morder las paredes y la infraestructura.

En la granja del productor B, los cerdos presentaron conductas negativas como morderse la cola, un cerdo le succionaba el pene a otro cerdo (Figura 4) y algunos cerdos adultos mordían el metal de las puertas de acceso.

Tasa de morbilidad y mortalidad. Estos parámetros fueron difíciles calcular de manera precisa, ya que los productores no cuentan con registros. El productor A tiene una tasa de mortalidad del 5.8%, lo que se considera el límite del rango normal de mortalidad. La tasa de mortalidad en el productor C en cerdos en fase de lactación fue de 12.5%, lo cual indica que existe mal manejo al parto y durante la lactancia. Mientras que la morbilidad y mortalidad es de 3% en animales adultos, lo cual se encuentra en el rango normal. En la granja del productor F se presenta una alta tasa de morbilidad, sobre todo por diarreas en lechones. La morbilidad y mortalidad fue estimada en 30% para ambos casos. Esta tasa es la más alta de los seis productores de traspatio en la localidad e Ahuacatlán.

Figura 1 y 2.

Pisos con escasa cama en hembras gestantes y con humedad excesiva. Así como espacios reducidos en los corrales de engorda.



También es evidente el hacinamiento, el aspecto físico de los corrales. Por otra parte, los pisos no cuentan con cama y los espacios son muy reducidos (**Figuras 1 y 2**).

En la granja del productor D los cerdos presentaron conductas de monta entre hembras, lo cual puede considerarse un comportamiento normal entre hembras que se encuentran en fase de proestro (**Figura 3 y 4**). En esta granja los cerdos se mostraron calmados, emiten vocalizaciones típicas como chillidos, ladridos y gruñidos. Y otros cerdos desarrollaron conductas de succionar la región peneana.

Figura 3 y 4.

Hembras adultas y en fase crecimiento mostrando conductas reproductivas.



Cambios de peso y condición corporal. La condición corporal fue difícil determinar, sin embargo, los cerdos del productor B presentaron condición corporal aceptable ($CC=3$). En otras granjas la CC está en los rangos de estado de masa muscular.

Tasa de mortalidad y eliminación selectiva. La mortalidad varía entre cada granja, en algunos productores va del 5%, 12% y hasta 30%. Estas últimas dos tasas de mortalidad se consideran elevada y se debe a diarreas en cerdos en lactancia y al destete.

Eficiencia reproductiva. La eficiencia reproductiva no se pudo

evaluar debido a que los productores no cuentan con registros de ningún parámetro reproductivo. El único “registro” es que los productores mencionan que la monta es natural y que solo es necesario una monta.

Respuesta al manejo. Una constante en las 6 granjas es lo reducido de los corrales, sobre todo en fase de finalización. En la granja C los cerdos no cuentan con espacio suficiente, existe hacinamiento, lo que conlleva a estrés, desencadenando diarreas y conductas de agresión. Básicamente el manejo es mínimo, las granjas tienen todas las fases de pie de cría, gestación, lactancia, destete, engorda y finalización. El transporte para matanza es mínimo, ya que se realiza en el traspatio de los vendedores de carne de cerdo.

Presencia de cojeras. Algunos cerdos del productor B presentan cojeras y dolor al desplazarse. Las cojeras, asociadas a un mal diseño de los pisos, exceso de humedad y falta de camas (Figura 4). El productor F se presenta 25% de animales con cojeras.

Evaluación del bienestar animal de acuerdo con los indicadores de la Welfare Quality®.

Tabla 2.

Resultados de la evaluación del bienestar animal granjas de traspatio.

Criterios de evaluación de Welfare Quality®	A*	B*	C*	D*	E*	F*
1. Alimentación						
1.1. Ausencia de hambre prolongada	4	2	2	4	3	4
1.2. Ausencia de sed prolongada	5	4	4	5	4	3
2. Alojamiento						
2.1. Confort con relación al descanso	2	2	5	4	4	5
2.2. Confort térmico	3	1	5	4	5	5
2.3. Facilidad de movimiento	2	3	5	4	4	5
3. Estado sanitario						
3.1. Ausencia de lesiones	2	3	4	5	4	4
3.2. Ausencia de enfermedades	3	2	4	4	5	4
3.3. Ausencia del dolor por causa de manejo	3	2	5	5	4	1
4. Comportamiento general						
4.1. Expresión de comportamiento social adecuado	2	4	5	4	3	5
4.2. Expresión adecuada de otras conductas	2	3	5	4	4	4
4.3. Relación humano animal positiva	2	2	5	4	4	5
4.4. Estado emocional positivo	4	3	5	4	5	5
Puntuación total	34/60	29/60	54/60	51/60	49/60	49/60

Las letras marcadas * representa a cada uno de los productores participantes.

De acuerdo con el protocolo del bienestar animal de la WQ los productores C, D, E y F, obtuvieron 54, 51, 49 y 49 puntos del total de 60, respectivamente, considerado un buen bienestar animal. Los productores de las granjas A y B solo obtuvieron 34 y 29 puntos. Siendo el productor B que tiene el nivel más bajo del bienestar animal.

1. Alimentación. En general todos los productores proporcionan alimentación *ad libitum* a sus cerdos. Sin embargo, en relación con el diseño y material de construcción de los comederos (**Figura 5**), se dificulta su limpieza y favorece la proliferación de hongos y bacterias. En las 6 granjas de traspatio los comederos son de concreto, con diseños cuadrados y sin un sistema de drenaje. En el productor de la granja C los cerdos no cuentan con alimento *ab libitum*. Pero si cuenta con suficientes bebederos de tipo chupón.

2. Alojamiento. En todas las producciones los pisos son de cemento y ninguna cuenta con algún tipo de cama (**Figura 4**). En el productor B los lechones cuentan con sistema para refrescarse. Las instalaciones del productor D tienen buenas dimensiones, sin embargo, carecen de camas (**Figura 1**).

3. Estado sanitario. En la granja del productor A las hembras adultas han presentado prolapso uterino (por uso de oxitocina al iniciar la labor de parto, sin consulta veterinaria) y otras hembras presentan mastitis clínica. En el caso de los lechones algunos han presentado diarrea con fiebre. En la granja A no descolmilla y los cerdos tiene dos meses, predisponiendo a casos de mastitis clínica por la mordedura a glándula mamaria. Los lechones en la granja se encuentran libres de ectoparásitos. Sin embargo, se observaron lechones con diarrea color amarillo (el diagnóstico presuntivo es

colibacilosis) y otros se lechones observan con hernia umbilical (Figura 6).

Figura 5 y 6.

Cerdos destetados y en fase de finalización con presencia de hernia umbilical.



En la granja D en machos adultos en fase de engorda se observan varios cerdos con hernias inguinales (Figura 5) e infecciones posquirúrgicas en la región testicular, como resultado de la castración.

Para el caso del productor C no se observaron lesiones, pero se han presentado casos de mortalidad compatibles con el síndrome del estrés porcino. El productor E tiene buen manejo en general, sin

embargo, tiene una morbilidad de 10%, principalmente por diarreas al cambio de fase del destete.

4. Comportamiento general. Los lechones no cuentan con juguetes. Se presentan conductas “anormales”, como succionar la región peneana entre lechones. Los lechones huyen a la presencia del humano (conductas negativas). En el productor B los lechones presentan poco temor, expresado por el sonido de los ladridos.

En la granja D se observaron peleas entre lechones por la ausencia de juguetes o de enriquecimiento ambiental. En esta misma granja algunos cerdos adultos presentaron estereotipias, como morder los barrotes de metal de las puertas y otros exploran la región peneana.

Discusión

De acuerdo con Godyn et al., (2019) el bienestar animal debe ser abordado desde una perspectiva científica considerando los derechos de los animales. El bienestar animal también debe ser evaluado desde un punto de vista de clínico y de laboratorio. En este sentido se recomienda medir los niveles cortisol en sangre, analizar aspectos fisiológicos, como la regulación de la temperatura y los flujos de corriente de aire a los corrales. En las 6 granjas de traspatio analizadas, los productores de Ahuacatlán realizan la producción de cerdos con bajos estándares establecidos de bienestar animal por la OMSA y por la WQ. Las granjas con exceso de humedad relativa, poca ventilación y de materiales que absorben calor, pueden generar de estrés por calor, predisponiendo a los cerdos a enfermedades respiratorias e inclusive aumentan las tasas de morbilidad y mortalidad.

El bienestar animal actualmente es un tema en auge, sobre todo que existe un interés del público que consume carne de cerdo. De acuerdo con la OMSA, WQ y Godyn *et al.*, (2019) existe un pobre bienestar animal cuando fallan las estrategias de manejo, cuando se presentan estrés en cualquier fase de la producción, cuando los animales se encuentran inmunológicamente comprometidos. Por su parte, Ribas *et al.*, (2023), sostiene que cuando los cerdos entran en situaciones de frustración, asociado a pisos sin cama, por hacinamiento, o exceso de humedad o instalaciones con pobre ventilación, los cerdos tienen que lidiar con el ambiente, generando comportamientos agonísticos, comprometiendo los procesos de conocimiento y predisponiendo a alteraciones inmunológicas.

Conclusiones

La producción de cerdos a nivel de traspatio se realiza con pocos estándares de bienestar animal de acuerdo con la OMSA y Welfare Quality[®].

En la mayoría de las producciones de traspatio los cerdos presentan conductas negativas que repercuten directamente en la salud animal.

La producción animal en condiciones de traspatio se debe adoptar un enfoque proactivo para mitigar el estrés en los cerdos.

Es recomendable crear ambientes más amigables, mejorar las condiciones de manejo de los animales, como colocar objetos en los corrales, poner camas de materiales que sirvan de amortiguador y

aislante. Es muy importante orientar a los productores a que deben establecer programas de medicina preventiva.

Cada uno de los elementos del manejo, de la medicina preventiva contribuye de manera directa para lograr el bienestar animal y la salud de los cerdos en los productores locales.

Agradecimientos. A los productores Beatriz Bautista Pila, Raúl Cuevas Sosa, Guillermo Galindo, Adolfo Pérez Sosa y Guillermo Melo, quienes de manera voluntaria nos permitieron visitar sus granjas de traspatio para la colecta de datos. Al CONAHCYT por el apoyo de la beca para trabajo de campo.

Bibliografía

Becerril-Herrera, M., Mota-Rojas, D., Guerrero Legarreta, I., Schunemann de Aluja, A., Lemus-Flores, C., González-Lozano, M., Ramírez-Necoechea, R. y Alonso-Spilsbury, M. (2009). Aspectos relevantes del bienestar del cerdo en tránsito. *Veterinaria México*, Vol. 40 No 3.

Godyn, D., Nowicki, J. y Herbut, P. (2021). Effects of Environmental Enrichment on Pig Welfare-A Review. *Animals*, 9 (6), 383. <https://doi.org/10.3390/ani9060383>

Nava Hernández, G., Aldasoro Maya, E. M., Perez Grovas Garza, R. y Vera Cortés, G. (2018). Interacciones del ser humano con animales de traspatio: un estudio desde la Etnoveterinaria en Tabasco, México. *Nova Scientia*, Vol.10 No. 21. ISSN 2007-0705. DOI: doi.org/10.21640/ns.v10i21.1532

Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA/, 2024). Fomentar una “comprensión común del bienestar animal” (<https://www.woah.org>. Fecha de consulta, 06 de julio de 2024).

Ribas, J., Nagano, F.Y. y Paranhos da Costa, M.J.R. (2023). Estrategias para mejorar el bienestar de los cerdos: Revisión bibliográfica. *Veterinaria (Montevideo)* Volumen 59, N° 220, DOI:10.29155/VET.59.220.5

Servicio de Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria-SENASICA.
<https://www.gob.mx/senasica>. (fecha de consulta 06 de julio de 2024).

Prevalencia de agentes etiológicos con riesgo de transmisión zoonótica en cerdos de traspatio y de rancho tecnificado en distintas localidades de México

Introducción

La porcicultura es una de las líneas de producción del sector agropecuario con beneficios económico y social, ya que la crianza y la comercialización de los cerdos (*Sus scrofa domestica*) genera empleos y urbaniza las zonas donde se realiza. En México existen tres sistemas de producción de carne de cerdo: el tecnificado, semi-tecnificado y de traspatio (www.gob.mx/agricultura).

El cerdo de traspatio o de subsistencia constituye un sistema de producción y comercialización doméstico, caracterizado por la engorda de pocos animales, que contribuye a la economía familiar y al consumo local de proteína animal; en general, esto ocurre en comunidades rurales. Las instalaciones de la crianza de traspatio son rústicas, localizadas cerca de la casa-habitación y la fuerza de trabajo es familiar. La alimentación de los cerdos se asocia a desperdicios alimenticios o en su defecto, se permite que los animales deambulen libremente para que ellos consigan su propio alimento; repercutiendo, por un lado, a una inversión económica baja para la crianza y por otro, exponiendo a los animales a agentes

infecciosos. Entre las patologías más reconocidas en la crianza de cerdos de traspatio destacan las helmintiosis ocasionadas por *Taenia solium*, *Ascaris suum*, *Trichuris suis* y *Trichinella spiralis* (Pulido-Villamarín et al. 2019; Gómez-Mendieta et al. 2024).

La producción en los sistemas tecnificados, se caracteriza por las medidas sanitarias instrumentadas y porque cuentan con instalaciones apropiadas para reproducción y los animales consumen alimento balanceado. Estos animales generalmente son destinados para su faenado a un rastro inspeccionado o pueden ser vendidos como pie de cría a otras granjas (Estrada-Salmerón et al., 2001). Sin embargo, en algunas ocasiones, puede haber fallas en la bioseguridad y es cuando se presentan brotes de enfermedades infecciosas; entre las más comunes se encuentran las ocasionadas por el virus respiratorio reproductivo del cerdo o PRSS, el virus de la diarrea epidémica porcina, las infecciones por *Salmonella*, *Leptospira*, *Erisipela* y algunas veces *Brucella*. Las enfermedades parasitarias son raras en la porcicultura tecnificada, pero se llegan a presentar casos de cisticercosis (*Taenia solium*).

La implementación de medidas de seguridad alimentaria y la búsqueda de patógenos en productos de origen animal son una constante porque algunas de las enfermedades son de potencial zoonótico, es decir, tienen capacidad de transmitirse del cerdo al ser humano y viceversa (Pozio, 2000; Guzmán-Hernández et al., 2016). En la actualidad hay varios métodos diagnósticos para la vigilancia epidemiológica de la prevalencia de estas parasitosis, la mayoría de los cuales están asociados a la determinación de anticuerpos que proporcionarían la información necesaria para establecer la circulación del patógeno en una región en particular (Dacal et al., 2020; Sadaow, et al., 2018).

El estudio de la prevalencia de las enfermedades infecciosas y parasitarias está relacionado con el desarrollo económico-social además de, influir en los programas de salud pública, veterinaria y silvestre. En el caso de la salud animal, las enfermedades infecciosas y parasitarias limitan la producción de cerdos, así como pueden causar la muerte, la eutanasia prematura o el decomiso de las canales repercutiendo en la economía de los productores (Kipper et al., 2011; Taylor et al., 2007).

En varios países, el control sanitario en cerdos domésticos se lleva a cabo mediante la búsqueda de anticuerpos contra *Taenia solium* (prevalencia de 11.2 a 40.5%) y contra *Trichinella spiralis* (prevalencia de 0 a 4.5%) (Addo et al., 2021; Pinilla, et al. 2021; Söderberg et al. 2021). Incluso, en México, se ha buscado la presencia de anticuerpos contra *Trichinella* (prevalencia 5.5%) en jabalíes silvestres confinados a unidades de manejo animal (de-la-Rosa-Arana et al., 2021).

En México, los estudios sobre la prevalencia de enfermedades infecciosas y parasitarias en animales destinado al consumo humano, son insuficientes y, particularmente, para *Brucella* en porcinos, no hay un programa de vigilancia epizootiológica (SAGARPA, 1996), pero existe un estudio en cerdos de traspatio donde ninguno de 1,091 animales fue positivo (Favila-Humara et al., 2017). En general, hacer estudios sistemáticos sobre la prevalencia de agentes infecciosos en México, resulta complicado por varias razones; una de ellas asociada a que la industria porcícola tiene un inventario fluctuante mayor a los 18 millones de cabezas por año (SENASICA, 2021) y, por otro lado, no hay un estimado certero del inventario de cabezas de traspatio, sin tomar en cuenta que existen poblaciones con número indeterminado de cerdos de “vida libre”, denominados “cerdos alzados” o “asilvestrados”. Este trabajo tuvo

el objetivo de identificar la frecuencia de anticuerpos contra *Trichinella*, *Taenia* y *Brucella* en porcinos criados en sistema de traspatio y en rancho tecnificado de distintas localidades de México para actualizar la situación epidemiológica de estos agentes etiológicos con potencial zoonótico.

Material y Métodos

Población de estudio

Un total de 362 muestras séricas de porcinos de traspatio se obtuvieron por donación (**figura 1**). Se obtuvieron 144 muestras del Estado de Querétaro por conducto del Programa para la Vigilancia Epidemiológica de la Fiebre Porcina Clásica, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural; además, se obtuvieron muestras de los Estados de Morelos (n=73), Sinaloa (n=68) y Durango (n=70) por conducto del InDRE, Secretaría de Salud. Todas las muestras se obtuvieron mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Simultáneamente se obtuvieron por donación de una granja técnica del Estado de Querétaro 190 muestras séricas porcinas de hembras gestantes mayores a tres meses de edad y gestantes. Con la intención de determinar si el número de muestras obtenidas por Estado tendría alguna significancia estadística, se infirió que las 18 millones de cabezas porcinas se distribuyen homogénea, por lo que cada Estado tendría un inventario de medio millón de cabezas. Suponiendo una prevalencia del 10% para los agentes etiológicos aquí estudiados y un intervalo de confianza del 95%, el tamaño de muestra sería de 139; para un intervalo del 90% sería de 98 muestras y, de 60 para 80% (www.OpenEpi.com). Las muestras de sangre, en cantidad de 3 a 5 mL, fueron trasladadas al laboratorio en cadena fría a 4°C para separar el suero por centrifugación a 3,500 rpm durante cinco minutos. Posteriormente

fueron almacenadas a -20°C hasta su uso.



Figura 1. **Cerdos de traspatio.** La fotografía fue tomada previamente a la toma de muestras y donada para este estudio por un investigador del InDRE.

Antígenos y pruebas diagnósticas

Se obtuvieron 3 tipos diferentes de antígenos. Para la determinación de anticuerpos contra *T. spiralis* se prepararon los productos de excreción y secreción de la larva muscular (Gómez-Mendieta *et al.*, 2024) y se utilizaron en un ensayo inmunoenzimático (ELISA). Para la determinación de anticuerpos contra el cisticerco de *Taenia solium* se empleó una estrategia donde los sueros se evaluaron por ELISA empleando el fluido vesicular de *T. crassiceps* (Hernández *et al.* 2019). La determinación de anticuerpos contra

Brucella (figura 2) se llevó a cabo con la prueba de tarjeta o Rosa de Bengala usando el antígeno de *B. abortus* cepa 1119-3 a una concentración de 8% (Aba test, Productora Nacional de Biológicos Veterinarios. Ciudad de México, México).

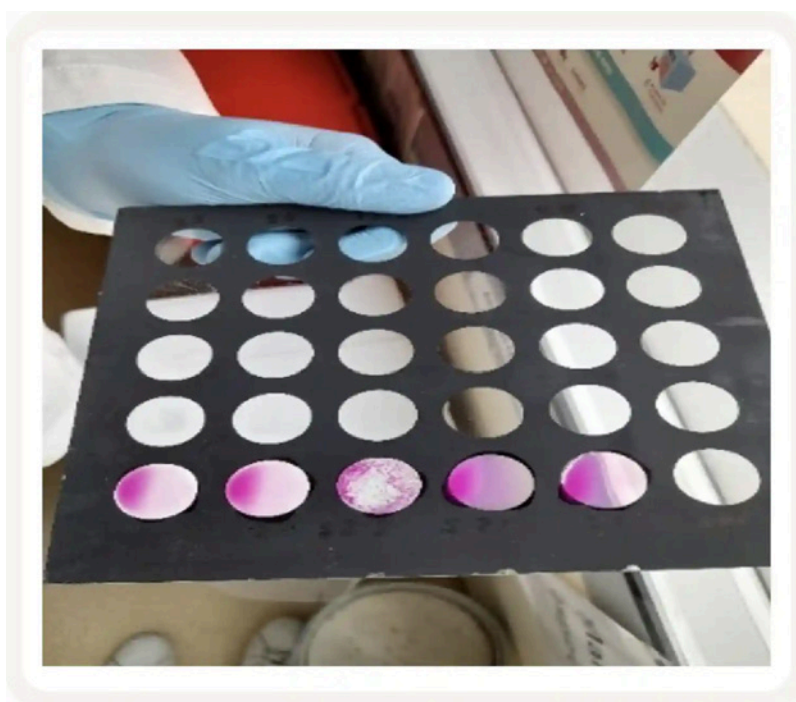


Figura 2. **Evaluación con la prueba de tarjeta para el diagnóstico de *Brucella*.** La fotografía fue tomada durante el entrenamiento para este estudio. Se muestra en la primera fila 5 sueros evaluados, la reacción de aglutinación se observa en la tercera posición de la tarjeta.

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados como frecuencia simple y se empleó la prueba de Z para comparar los resultados obtenidos entre los sistemas de producción. Los cálculos se realizaron con el software Ope-Epi para estadísticas epidemiológicas de código

abierto para Salud Pública (www.OpenEpi.com).

Resultados

Determinación de anticuerpos

La **tabla 1** muestra los resultados obtenidos para la determinación de anticuerpos contra los agentes etiológicos aquí estudiados. Para *Trichinella* se encontraron 9 muestras positivas en los sueros de traspatio; 5 muestras fueron de Sinaloa (n=5) y 4 de Morelos. La **figura 3** muestra los resultados de densidad óptica obtenidos en el ELISA. No se obtuvieron muestras positivas en los sueros de granja tecnificada. Para el cisticerco de *Taenia solium* se encontraron 6 muestras positivas en los sueros de traspatio (**figura 4**); las 6 muestras fueron de Durango (n=6); no se encontraron sueros positivos en la granja tecnificada. En la prueba de rosa de Bengala para el diagnóstico de Brucelosis, ninguna muestra (traspatio y técnico) fue positiva (**figura 5**).

Tabla 1. Frecuencia de seropositividad contra *Trichinella*, *Taenia* y *Brucella*.

Antígeno	Traspatio								Granja	
	Querétaro (n=XX)		Morelos (n=XXX)		Sinaloa (n=XXX)		Durango (n=XXX)		Querétaro (n=199)	
	Pos (%)	Neg	Pos (%)	Neg	Pos (%)	Neg	Pos (%)	Neg	Pos (%)	Neg
<i>Trichinella</i>	0	144	4 (1.1)	69	5 (1.4)	63	0	70	0	190
<i>Taenia</i>	0	144	0	73	0	68	6 (2)	64	0	190
<i>Brucella</i>	0	144	0	73	0	68	0	70	0	190

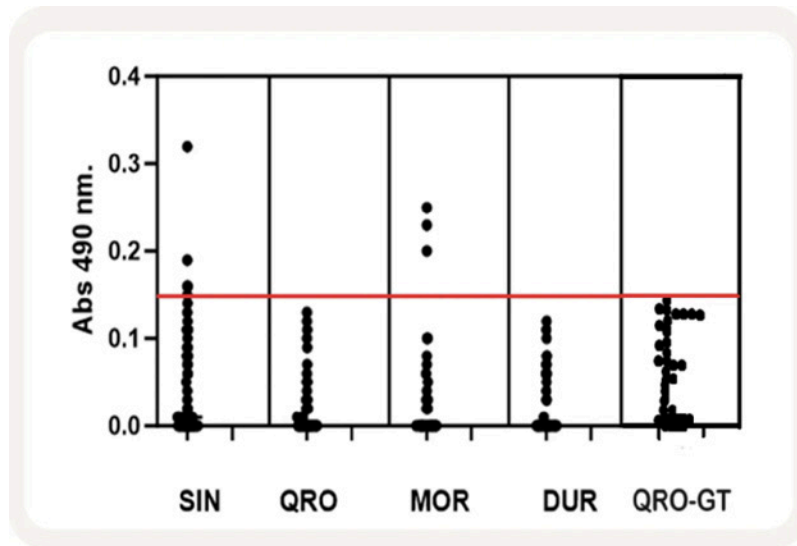


Figura 3. Reactividad por ELISA de las muestras séricas porcinas contra los antígenos de la larva muscular de *Trichinella spiralis*. Se observa la reactividad de las muestras de traspatio de los Estados de Sinaloa (SIN), Querétaro (QRO), Morelos (MOR), Durango (DUR) y la reactividad de las muestras de la granja tecnificada (QRO-GT). El punto de corte es la línea horizontal roja.

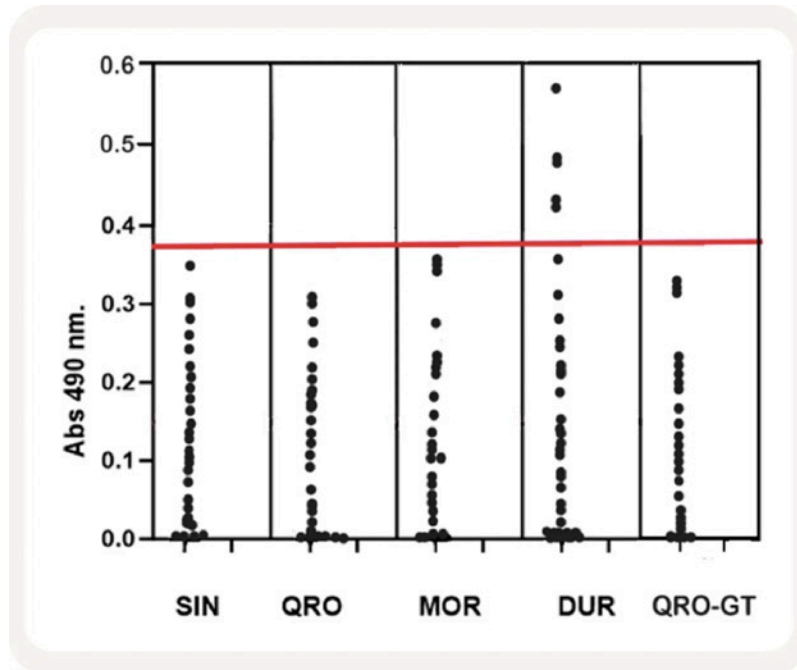


Figura 4. Reactividad por ELISA de las muestras séricas porcinas contra el fluido vesicular de *Taenia crassiceps*. Se observa la reactividad de las muestras de traspatio de los Estados de Sinaloa (SIN), Querétaro (QRO), Morelos (MOR), Durango (DUR) y la reactividad de las muestras de la granja tecnificada (QRO-GT). El punto de corte es la línea horizontal roja.

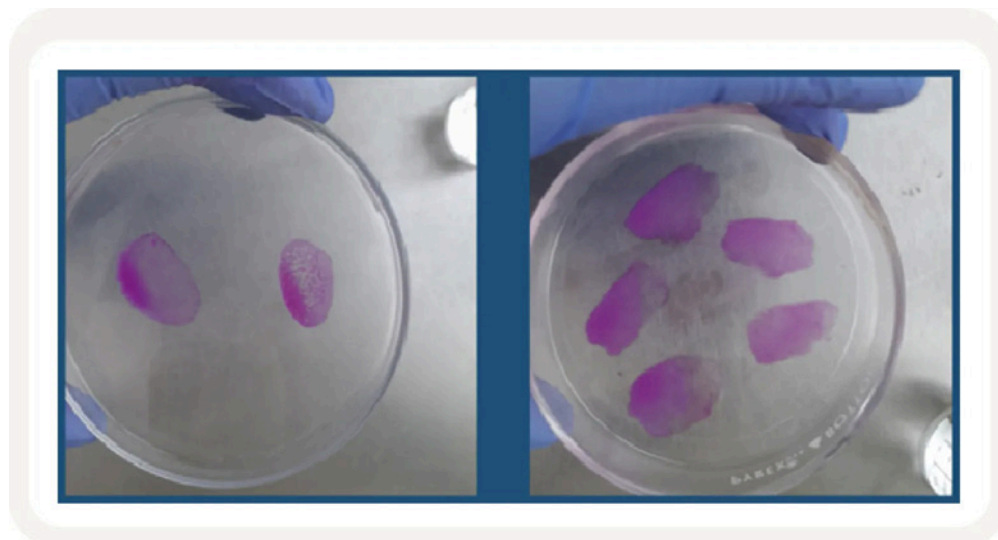


Figura 5. **Diagnóstico para *Brucella* en muestras séricas porcinas.** En panel izquierdo se muestran, testigo negativo y testigo positivo (+), respectivamente, de izquierda a derecha. En el panel derecho se observan, de manera representativa muestras de porcino de traspatio y de granja.

Frecuencia global

La **tabla 2** resume la frecuencia global de los agentes infecciosos evaluados y las técnicas diagnósticas, tanto para el sistema de traspatio como para el tecnificado. La frecuencia global en traspatio fue del 2.2% para *Trichinella*, mientras que para *Taenia* fue de 1.7%. No hubo muestras positivas para el sistema tecnificado ni para *Brucella*.

Las **figuras 6, 7 y 8** muestran mapas epizootiológicos porcino de la distribución de *Taenia*, *Trichinella* y *Brucella* respectivamente. El mapa de *Taenia* se construyó de *novo*, mientras que el mapa de *Trichinella* tomo como base el trabajo de [Guerrero-Medina \(2022\)](#), que reporta datos provenientes de cerdos faenados en rastros de

distintos estados del país (color verde y azul); este mapa lo complementamos con los hallazgos de anticuerpos contra *T. spiralis* en los estados de Sinaloa y Morelos (color rosa y amarillo respectivamente). El mapa para *Brucella* tomó como base los datos de Favila-Humara (2017) en el sureste de México, donde 70.46% de las unidades porcinas incluidas en el muestreo, fueron granjas de traspatio.

Tabla 2. Frecuencia global de seroprevalencia para *Brucella*, *Taenia* y *Trichinella*

Agente Infeccioso	Antígeno	Prueba Serológica	No. muestras evaluadas	%
SISTEMA DE TRASPATIO				
<i>Brucella</i>	R. Bengala	Aglutinación	356	0
<i>Trichinella</i>	PES	ELISA	356	2.2
<i>Taenia</i>	FV	ELISA	356	1.7
SISTEMA TECNIFICADO				
<i>Brucella</i>	R. Bengala	Aglutinación	190	0
<i>Trichinella</i>	PES	ELISA	190	0
<i>Taenia</i>	FV	ELISA	190	0



Figura 6. **Mapa epidemiológico de la distribución de *Taenia solium* en cerdos.** Los estados en colores representan las localidades muestreadas del presente estudio, Sinaloa (azul), Durango (naranja), Querétaro (morado), Morelos (verde). Los estados en color rosa indican que hay estudios que han evaluado prevalencia de cisticercosis porcina previamente (Estado de México, Morelos, Guerrero, Puebla, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo).



Figura 7. Mapa epidemiológico de la distribución de *Trichinella* en cerdos. En color verde están representados los estados en los que se han realizados estudios para la detección de *T. spiralis* utilizando pruebas diagnósticas directas (triquinoscopía y digestión artificial), mientras que en azul los que se usaron pruebas indirectas (ELISA). Las prevalencias de los estados son, Zacatecas (1) 30%, el Estado de México (2) métodos directos 0-6% y métodos indirectos 12.4%, Jalisco (3) 0.32-4.2%, Puebla (4) 3.3%, Ciudad de México (5) 0.001-1.05 %, Sonora (6) 0.1% y Oaxaca (7) con 0.9 % (Guerrero-Medina, 2022). Los datos de Sinaloa 1.1% y Morelos 1.3% (rosa y amarillo respectivamente) son contribución de este trabajo.



Figura 8. Mapa epidemiológico que muestra la ausencia de anticuerpos contra *Brucella* en cerdos. En gris los Estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, (Favila-Humara, et al. 2017). Los Estados de Sinaloa (azul), Durango (naranja), Querétaro (morado) y Morelos (verde) corresponden a los resultados del este estudio.

Discusión

En México, los estudios sobre la prevalencia de enfermedades parasitarias e infecciosas con potencial zoonótico en animales destinados al consumo humano, son insuficientes; por lo que en este trabajo se buscaron anticuerpos específicos contra *Trichinella*, *Taenia* y *Brucella* en porcinos criados en sistema de traspatio y en rancho tecnificado de distintas localidades de México. Nuestros hallazgos mostraron que la frecuencia global para *Trichinella* fue de 2.2%, y para *Taenia* fue de 1.7% en la crianza de traspatio, mientras que no hubo muestras positivas para *Brucella* en ninguno

de los sistemas. Estos datos confirman que la seroprevalencia de agentes infecciosos en cerdos de sistemas de producción tecnificada es menor con respecto a los cerdos de traspatio.

En el sistema de traspatio hay mayor probabilidad de encontrar cerdos portadores de agentes etiológicos con potencial zoonótico debido a las deficientes condiciones zoosanitarias que podrían facilitar la transmisión intra e interespecie (Favila Humara *et al.* 2017) y también, debido a que estos animales deambulan libremente puede ser el punto de contacto de los cerdos con animales de vida silvestre y a su vez la transmisión de las zoonosis. Además, estos datos indican que en el sistema tecnificado cuenta con las condiciones normativas zoosanitarias para garantizar la calidad y seguridad de los productos porcinos.

Es importante llevar la información de estos estudios a las localidades donde existe la crianza de cerdos en traspatio para reforzar las acciones de prevención y control como mantener el ambiente de crianza en condiciones higiénico-sanitarias apropiadas, adecuada alimentación y evitar que estén en contacto con la basura, letrinas, heces humanas, e ingieran desperdicios. Así mismo, es importante combatir la presencia de roedores, ya que son posibles portadores y transmisores de estas enfermedades.

Existen trabajos previos que se han realizado en algunos países, para el control sanitario en cerdos domésticos, donde se lleva a cabo la búsqueda de anticuerpos. En Ghana, ejemplo, se ha documentado una seroprevalencia del 24.9% para *Taenia solium* (prevalencia desde 11.2 al 40.5%) y, 4.5% para *Trichinella spiralis* (prevalencia desde 0 a 4.5%) (Addo *et al.*, 2021). En Bucaramanga, Colombia no se detectó la infección contra *T. spiralis* en 200 sueros porcinos analizados por ELISA; sin embargo, se registró una

seroprevalencia del 40.5% para cisticercosis porcina por *T. solium* (Pinilla, *et al.* 2021). Por otra parte, en Camboya se obtuvieron y evaluaron por medio de ELISA, 242 muestras de sueros porcinos para determinar la seroprevalencia de cisticercosis porcina y *Trichinella spp.* en pueblos rurales. Los resultados indicaron prevalencia de 11.2% para *Taenia spp.* y 2.5% para *Trichinella spp.* (Söderberg *et al.* 2021). De manera particular en México, los datos para *Brucella* en cerdos es insuficiente, aunque se ha declarado que nuestro país está libre de esta bacteria en cerdos, pero es importante llevar a cabo estudios epidemiológicos para corroborar ese estatus epidemiológico. Por lo tanto, este es el primer trabajo que busca mostrar cuál es el panorama epidemiológico de la *Brucella* en cerdos en la última década.

Como perspectivas que se tienen es llevar el estudio de estas enfermedades zoonóticas a otras partes u otros estados productores de carne porcina de nuestro país para hacer más muestreos y tener mayor conocimiento de la situación epidemiológica de estas zoonosis en todo el territorio o la mayor parte, así como aplicar o reforzar las medidas de control y prevención donde sea necesario. Esto tendría distintos beneficios, ya que si conseguimos tener carne libre de patógenos lograríamos un comercio más justo, carne de calidad para mexicanos y para su exportación, lo cual se traduce en mayores ganancias para los productores. Además, otro beneficio no menos importante sería lograr la erradicación de la cisticercosis, ya que nos encontramos ante la certificación de la ausencia de transmisión de *Taenia* y la falta de datos sistemáticos en nuestro país de *Trichinella*.

Conclusiones

Nuestros resultados indican una frecuencia global de 1.7% para *T.*

solium y 2.2% para *T. spiralis*, mientras que no obtuvimos muestras positivas para *Brucella*. En cuanto al sistema tecnificado no se registraron muestras positivas para ninguno de los agentes etiológicos evaluados. Los datos aquí reportados sugieren la disminución en la transmisión de los agentes etiológicos.

Agradecimientos

Programa para la Vigilancia Epidemiológica de la Fiebre Porcina Clásica, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural e Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos, Secretaría de Salud por la donación de muestras. Luis Daniel Valencia Saavedra fué becario del CONAHCYT para estudios de maestría en el Programa de Salud y Producción Animal de FESC, UNAM. Luis Parra Oaxaca (FESC, UNAM) por su apoyo técnico. Eduardo Jiménez (Brucelosis, InDRE, SS) por el entrenamiento para ejecutar la prueba Rosa de Bengala. Víctor Hugo del Río Araiza, Marco Antonio Muñoz Guzmán y Jorge Luis de la Rosa Arana son becarios del Sistema Nacional de Investigadores del CONAHCYT, México.

Referencias

1. www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-entre-los-principales-productores-y-consumidores-de-carne-de-cerdo-en-america-latina-y-el-mundo
2. Pulido-Villamarín A, Castañeda-Salazar R., Márquez-Hernández A, Martínez-Rodríguez J, Martínez-Triana D, Palencia-Sánchez F. 2022. Factores de riesgo asociados a las enfermedades zoonóticas derivadas de la producción porcícola: Una revisión exploratoria. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 33 (2): e22591. DOI: 10.15381/rivep.v33i2.22591
3. Mendoza-Gómez MF, Pulido-Villamarín A, Barbosa-Buitrago A, Aranda-Silva M. 2015. Presence of gastrointestinal parasites in swine and human of four swine production farms in

Cundinamarca- Colombia. Rev MVZ Córdoba 20: 5013-5026.

4. Fávila-Humara, L.C., Palomares Reséndiz, E.G., Martínez Lara, A.C., Diosdado Vargas, F., Díaz Aparicio E. 2017. Porcicultura del sureste mexicano seronegativa a brucelosis. Quehacer científico en Chiapas.
5. Addo HO, Majekodunmi AO, Sampene-Donkor E, Ofosu-Appiah LH, Opare D, Owusu-Okyere G, Amegah KE, Bimi L. (2021). Seroprevalence of *Taenia solium* and *Trichinella spiralis* among Humans and Pigs in Ghana. Biomed Research Int. 2021-1031965. DOI: 10.1155/2021/1031965
6. Pinilla, J.C., Morales, E., Flores Muñoz, A. A. 2021. A survey for potentially zoonotic parasites in backyard pigs in the Bucaramanga metropolitan area, Northeast Colombia. Veterinary world. 14(2): 372-379.
7. de-la-Rosa-Arana JL, Ponce JB, Reyes NE, Vega V, Zepeda AP, Martínez VP, Gómez FR. (2021). Helminths of the wild boar (*Sus scrofa*) from units of conservation management and sustainable use of wildlife installed in the eastern economic region of Mexico. Animals. 11, 98.
8. Gómez-Mendieta LA, Bastida-Almaraz FJ, Salas-Ramírez M, Jasso-Villazul CE, Fuentes-Cervantes G, Gómez-De-Anda FR, Zepeda-Velázquez AP, Ponce-Noguez JB, de-la-Rosa-Arana JL. Serology survey of *Ascaris suum* and *Trichinella spiralis* in rural pigs in Southwestern Mexico. Vet Med Sci. 2024 Jul;10(4):e1474. DOI: 10.1002/vms3.1474.
9. SENASICA (2021). Estudio para determinar el impacto económico de la PPC en México. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2021/enero/An%C3%A1lisisSocioecon%C3%B3micoFPC_876a8d25-0d1b-4fa8-94e4-18d59e932257.pdf
10. Hernández M, Astudillo OG, Diego G, de-la-Rosa-Arana JL, Meza-Lucas A, García-Rodea R, Romo ML, Toledo A, Parkhouse RM, Garate T, Sciutto E, Fleury A. Immunodiagnosis of human neurocysticercosis: comparative performance of serum diagnostic tests in Mexico. Parasitol Res. 2019 Oct;118(10):2891-2899. DOI: 10.1007/s00436-019-06425-4
11. Guerrero Medina, L. J. 2022. Actualización epidemiológica de la infección por *Trichinella* en México. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

12. Söderberg R, Lindahl JF, Henriksson E, Kroesna K, Ly S, Sear B, Unger F, Tum S, Nguyen-Viet H, Ström Hallenberg G. Low Prevalence of Cysticercosis and Trichinella Infection in Pigs in Rural Cambodia. *Trop Med Infect Dis.* 2021 Jun 11;6(2):100. doi: 10.3390/tropicalmed6020100. PMID: 34207978; PMCID: PMC8293377.
13. www.OpenEpi.com
14. Kipper M, Andretta I, Gonzalez MS, Lovatto PA. (2011). Meta-analysis of the effects of endoparasites on pig performance. *Veterinary Parasitology* 181, 316-320.
15. Dacal E, Köster PC, Carmena D. (2020). Diagnóstico molecular de parasitosis intestinales. *Enferm Infecc Microbiol Clin.*; 38(Supl 1):24-31.
16. Sadaow L, Sanpool O, Phosuk I, Rodpai R, Thanchomnang T, Wijit A, Anamnart W, Laymanivong S, Win Pa Pa Aung JP, Maleewong W & Intapan PM (2018). Molecular identification of *Ascaris lumbricoides* and *Ascaris suum* recovered from humans and pigs in Thailand, Lao PDR, and Myanmar. *Parasitology Research.* 117: 2427–2436.
17. Pozio E. (2000). Factors affecting the flor among domestic, synanthropic and sylvatic cycles of *Trichinella*. *Veterinary Parasitology.* 93: 241- 262.
18. Guzmán H.R.L, Contreras RA, Ávila CED, y Morales GMR. (2016). Brucelosis: Zoonosis de importancia en México. *Revista Chilena de Infectología*; 33 (6): 656-662.

Tendencias y realidades de los parámetros productivos en cerdos entre 22 y 140 kilos. Etapa de levante y engorde

La vida de un nuevo cerdo empieza desde que la hembra tiene el servicio efectivo. Y está conformada por:

La etapa de lactancia puede ser de 21 o 28 días, la etapa de precebos puede ser de 6 o 7 semanas y la etapa del engorde sus días depende de los objetivos de peso final para el sacrificio y el mercado.

Si vemos la etapa de levante y engorde en días participa con el 37% de toda su vida y participa con 71% del consumo de concentrado total.

En la etapa de la ceba se tiene en cuenta varios parámetros productivos como son: Días de ceba, ganancia animal día, conversión alimenticia, porcentaje de mortalidad, volatilidad del peso final al salir a sacrificio. Estos parámetros varían dependiendo de factores internos y externos.

Los factores internos los podemos administrar y los externos tenemos injerencia parcial o nula en la administración.

Algunos factores internos son:

- Genética.
- Planes de alimentación y tipos de concentrados.
- Administración y manejo.
- Tipos de construcción.
- Suministro de alimento.
- Ayunos de los cerdos al momento de salir de la granja para la planta de beneficio (Sacrificio).
- Peso inicial y peso final.
- Sanidad, plan sanitario.
- Sexo.

Algunos factores externos son:

- Cantidad y calidad del agua.
- Humedad relativa.
- Vientos y corrientes de aire
- Ayuno de los cerdos en corral (planta de beneficio) a planta de sacrificio.
- Transporte (Logística).
- Clima.
- Procedencia de los lechones (peso promedio 27 kilos).
- Numero de procedencias para el llenado de un lote a cebar.

Si hacemos una relación de los parámetros productivos y los vemos en un plano de dispersión nos encontramos con tendencias de comportamiento y a la vez con puntos que rompen las tendencias.

Para la analítica cogimos una muestra de 645.688 cerdos cebados, con las siguientes características: Clima frio entre 16 y 19 grados centígrados a una altura sobre el nivel del mar promedio de 2.200 y

2.550, humedad relativa entre 61% y 70%. Del total de los cerdos cebados el 3% eran hembras el 4% inmunocastrados y el 93% revoltura (hembras y machos). Los planes de alimentación se tuvieron en cuenta cuatro proveedores de concentrado. Los llenados de los lotes a cebar se conformaron así: 33% procedencia única de proveedor y 67% revoltura de procedencia.

Grafico 1

Relación del peso final con la conversión alimenticia: El grafico de dispersión nos muestra que a mayor peso final hay un incremento en la conversión. La línea de tendencia tiene una R de 22.35%.

Datos puntuales que no definen la tendencia.

Grafico 2

Relación del peso inicial con la conversión alimenticia: El grafico de dispersión nos muestra que a mayor peso inicial hay un incremento no muy pronunciado en la conversión alimenticia. La línea de tendencia tiene una R de 4.56%

Datos puntuales que no definen la tendencia.

Grafico 3

Relación de la ganancia animal por día (Gr) con la conversión alimenticia: El grafico de dispersión nos muestra que a mayor ganancia animal por día hay una mejora en la conversión

alimenticia. La línea de tendencia tiene una R de 2.30%.

Datos puntuales que no definen la tendencia.

Grafico 4

Relación de la ganancia animal por día (Gr) con el peso inicial: El grafico de dispersión nos muestra que a mayor peso inicial hay una tendencia a mejorar la ganancia animal por día. La línea de tendencia tiene una R de 7.37%.

Datos puntuales que no definen la tendencia.

Grafico 5

Relación del porcentaje de la mortalidad con la conversión alimenticia: El grafico de dispersión nos muestra que a mayor porcentaje de mortalidad hay una tendencia a desmejorar la conversión alimenticia. La línea de tendencia tiene una R de 24.52%.

Datos puntuales que no definen la tendencia.

CONCLUSIONES

- Los sistemas de explotación intensivas como la porcicultura y avicultura. Específicamente la explotación de cerdos a nivel industrial y con visión de empresa agropecuaria se puede realizar en condiciones y factores externos muy amplios de clima y altura sobre el nivel del mar, en este informe lo hicimos

en un rango que contempla temperaturas entre 16 y 19 grados centígrados.

- Los parámetros productivos se deben de administrar y manejar de forma muy particular en cada granja y lote de crecimiento.
- Para lograr una mínima conversión alimenticia y maximizar la ganancia día por animal debemos de tener un manejo eficiente y eficaz de las otras variables y tener en cuentas los factores internos y externos mencionados anteriormente.
- Estas tendencias y datos específicos deben de ir acompañadas de datos económicos para una toma de decisiones más acertadas, a tiempo y acorde a cada productor, siempre mirando un objetivo de beneficio monetario. En otras presentaciones vamos a ver estos temas.
- Todos los parámetros productivos deben de tener un PORQUE un COMO y un QUE.

LOS DATOS SON EL ACEITE Y LA ANALITICA ES LA LOCOMOTORA