

Pecuarios.com

Biblioteca Digital



Avicultura.mx



Ganaderia.com



Porcicultura.com

VOLUMEN 1 | NOVIEMBRE - DICIEMBRE 2023

COMITÉ EDITORIAL

Director:

Luis Felipe Islas Guerra

luis@pecuarios.com

Director Adjunto:

David Israel Huitrón Mendoza

david@pecuarios.com

Editores:

Dra. María Elena Trujillo Ortega

Dr. Miguel Ángel Alonso Díaz

Dr. Juan Carlos del Río García

Pecuarios.com Biblioteca Digital Año 1, Vol. 1, Núm 6, Noviembre - Diciembre 2023, 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 en la especie de revista 04-2022-072116542700-102, 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 © 2022-2023, Pecuarios.com Última actualización: 03 de Noviembre de 2023.

CONTENIDOS:

Avicultura.mx _____

Estimaciones máximo verosímiles de parámetros genéticos aplicados a la crianza animal **5**

Autores: / *José Raúl Pérez G.*

Sistemas de producción de huevo alternativos ¿Económica y productivamente viables? **15**

Autores: / *Miguel Torres Bautista*

Ganaderia.com _____

Expresión de genes de choque térmico en bovinos de doble propósito expuestos a estrés calórico **21**

Autores: / *Angelica Torres Heredia*

Impacto económico de la implementación de un programa de inseminación artificial a tiempo fijo con resincronización en una producción de becerro para engorda al norte del estado de Veracruz **27**

Autores: / *Ameyalli Angélica Leyva Larios*

Porcicultura.com _____

Propuesta integral sustentable para el manejo de efluentes de origen porcino en la posta zootécnica de la FMVZ de la Universidad Autónoma de Puebla(BUAP), en Tecamachalco, Puebla **35**

Autores: / *Olga María Bañuelos Maldonado* / *Juan Ricardo Cruz Aviña* / *Noemí Pérez Mendoza*

Semen porcino conservado con antioxidantes naturales (Cymbopogon citratus e Hipericum perforatum) y Nanopartículas de plata como agente antimicrobiano **44**

Autores: / *Andrea Guerrero Guzmán*

Estimaciones máximo verosímiles de parámetros genéticos aplicados a la crianza animal

Resumen

La producción animal tiene como objetivo, transformar productos y subproductos animales en alimento nutritivo, para esto, se hace hincapié en mejorar el manejo, la nutrición y la cría de los animales de granja. La cría animal, implica un mejoramiento genético de las características seleccionadas generación tras generación, lo que lleva a los criadores a aplicar intensos programas de selección en sus animales. Para maximizar la efectividad de la selección, se deben conocer de manera precisa los parámetros genéticos y los métodos basados en máxima verosimilitud son usados de manera típica para este fin. El objetivo de esta investigación, fue calcular la repetibilidad de la suavidad del musculo del pecho de pavos usando los métodos de máxima verosimilitud (ML) y máxima verosimilitud restringida (REML). Los resultados manuales y usando el paquete estadístico SAS, nos indican que las estimaciones para ML y REML son diferentes, siendo la segunda preferible debido a que es insesgada y mantiene los estimadores en su área de parámetros.

Palabras clave: repetibilidad, componentes de varianza, máxima verosimilitud, máxima verosimilitud restringida.

Introducción.

La crianza de animales ha contribuido al mejoramiento de la producción ganadera desde hace muchos años. Cuando se cuenta con registros de producción, para dirigir la selección y determinar el cambio, los resultados son prometedores. La combinación de la cría (genética), nutrición y manejo produce un éxito notable en las ganaderías que aplican de manera correcta estos principios, por lo tanto, es de esperarse que se obtenga un desempeño mayor.

Cuando se seleccionan los mejores fenotipos para un rasgo particular, se espera que las características de la siguiente generación de animales, sean superiores. A medida que se desarrollaron métodos de estimación de parámetros más eficientes, la estimación de los parámetros genéticos se ha hecho más precisa, por lo tanto, tiene sentido estimar parámetros estadísticos según lo dictaminen los datos y no según algún método "favorito". El método de máxima verosimilitud, se ha utilizado de manera típica para estimar parámetros genéticos, aunque hoy en día existen otros métodos como los bayesianos, los métodos basados en verosimilitud aun se siguen utilizando debido a su fácil aplicabilidad y a sus propiedades asintóticas.

Revisión de literatura.

1. Parámetros genéticos.

La varianza es el elemento más importante de las valoraciones genéticas en los animales. El hecho de que haya individuos que produzcan más que otro nos proporciona una oportunidad de mejora, más aún si esta variabilidad es de origen genético. La varianza de los fenotipos, conocida como varianza fenotípica puede descomponerse en

varianzas de diferente origen (Gutiérrez 2012):

$$\sigma_P^2 = \sigma_G^2 + \sigma_E^2$$

Donde:

$\sigma_P^2 =$ Varianza fenotípica.

$\sigma_G^2 =$ Varianza genética.

$\sigma_E^2 =$ Varianza ambiental.

Y la varianza genética total, se divide en los siguientes componentes:

$$\sigma_G^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_I^2$$

Donde:

$\sigma_A^2 =$ Varianza genético aditiva.

$\sigma_D^2 =$ Varianza por dominancia.

$\sigma_I^2 =$ Varianza espistática.

Un parámetro de interés en mejora genética es llamado repetibilidad, el cual indica cuánto de la varianza total entre medidas de un mismo animal es debida al efecto de factores que son permanentes (por lo tanto, lleva una varianza ambiental permanente en su fórmula). En general este parámetro es un indicador del número de registros necesarios para poder aplicar la selección. Su expresión matemática es (Gutierrez, 2012):

$$R = \frac{\sigma_G^2 + \sigma_{AP}^2}{\sigma_P^2}$$

2. El modelo lineal mixto y sus estimaciones máxima verosímiles.

Cuando se asume la existencia de factores fijos, el modelo estadístico lineal es conocido como modelo mixto. En zootecnia consideramos un efecto fijo a cualquier factor medible (no genético) que pueda alterar la aptitud fenotípica

de los animales, por ejemplo: época del año, edad, sexo, número de lactancia entre otros. Cuando se emplea un modelo mixto el efecto de los factores fijos es removido de la estimación de los factores aleatorios, lo que genera, estimadores ajustados a las condiciones de cada sistema de producción animal.

El modelo mixto de 2 factores sin interacción, en algebra de escalares es:

$$Y_{ijk} = \mu + s_i + b_j + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

μ = Media o promedio del rebaño.

Y_{ij} = Variable respuesta o rasgo particular

b_j = Efecto del j-esimo factor fijo

a_i = Efecto del i-esimo semental.

ε_{ij} = Efecto aleatorio denominado error residual.

Para el caso de n factores aleatorios y fijos, es necesario estudiar el modelo lineal mixto en su forma matricial, el cual puede expresarse como (Mrode y Thompon, 2005):

$$y = Xb + Zu + e$$

Dónde:

b = vector de efectos fijos asociados con registros en y por X .

u = vector de efectos aleatorios asociados con registros en y por Z .

X = Matriz de incidencia que relaciona observaciones con efectos fijos.

Z = Matriz de incidencia que relaciona observaciones con efectos aleatorios.

y = vector de observaciones.

e = vector de residuales.

Hartley y Rao (Hartley y Rao, 1968) propusieron el método de máxima verosimilitud (ML) para estimar parámetros en modelos lineales mixtos, este método se basa en maximizar la función de verosimilitud de los parámetros a estimar. De forma general el método ML se basa en derivar el logaritmo de la función de densidad conjunta (donde se asume normalidad) de los parámetros y resolver el sistema de ecuaciones resultante, lo que genera un estimador de la varianza fenotípica que viene dado por:

$$\sigma_{p(ML)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y})}{n}$$

Esta definición de σ_p^2 esta sesgada, ya que está asociada a "n" grados de libertad, por lo tanto, es un estimador confiable solo con muestras de gran tamaño.

Los estimadores máximos verosímiles, para el modelo mixto con dos factores sin interacción y data balanceada son (Searle y col, 1992):

$$\sigma_s^2 = \frac{SC_s}{s} - \sigma_w^2 \quad \sigma_w^2 = \left[1 - \frac{b-1}{s(bk-1)} \right] CM_w$$

Y las sumas de cuadrados, grados de libertad y cuadrados medios necesarios, se estiman usando la siguiente tabla (Searle y col, 1992):

FV	SC	GL	CM
Fijo(b)	$\sum sk(\bar{y}_{i..} - \bar{y} \dots)^2$	b-1	
Animal(s)	$\sum bk(\bar{y}_{.j.} - \bar{y} \dots)^2$	s-1	SCs/GLs
Hijos(w)	$\sum \sum \sum (y_{ijk} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y} \dots)^2$	Sbk-s- b+1	SCw/GLw
Total	$\sum \sum \sum (y_{ijk} - \bar{y} \dots)^2$	n-1	

Donde K es el número de réplicas del diseño (Becker, 1986).

Puesto que el estimador ML esta sesgado, el método conocido como máxima verosimilitud "restringida" (REML) propuesto por Patterson y Thompson (Patterson y Thompson, 1971) da una descripción más adecuada para un modelo lineal o mixto. REML puede considerarse un intento de tomar en cuenta la "pérdida de grados de libertad" resultante de estimar los efectos fijos. En REML el conjunto de datos original se reemplaza por un conjunto de contrastes estimados a partir de los datos, y la función de probabilidad se maximiza en función de la distribución de probabilidad de estos contrastes, la principal ventaja de este método es que mantiene el valor de los componentes de varianza en su área de parámetros (valores positivos). La varianza fenotípica estimada vía REML tiene la siguiente expresión matemática:

$$\sigma_{p(\text{REML})}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y})}{n - 1}$$

Esta definición de σ_p^2 es insesgada, ya que está asociada a “n-1” grados de libertad.

El método REML, se ha convertido en el método preferido de análisis de datos en cría de animales, debido a sus excelentes propiedades estadísticas. Las restricciones impuestas por REML garantizan que las estimaciones estén dentro del área de parámetros, es decir, que todas las variaciones sean positivas, que todas las estimaciones de correlación estén en el rango de -1 a +1, y que todas las correlaciones parciales sean consistentes entre sí. En términos estadísticos, esto es equivalente al requisito de que la matriz de covarianza estimada sea semidefinida positiva, es decir, que ninguno de sus autovalores sea negativo, (Meyer y col, 2004)

Los componentes de varianza de REML para el modelo mixto de dos factores y data balanceada son (Searle y col, 1992):

$$\sigma_w^2 = CM_w$$

$$\sigma_s^2 = \frac{CM_s - CM_w}{bk}$$

Cuando se cuenta con muestras con grandes cantidades de datos, la estimación REML es una garantía, ya que el error de muestreo se reduce en función aumenta el tamaño de la muestra. Pero en casos con muestras de tamaños no tan grandes y especialmente en modelos multivariados, el error de muestreo genera un sesgo en los estimadores generados por REML, lo cual los hacen menos confiables, puesto que estos se alejan del valor poblacional. Ante este problema K. Meyer y col (Meyer y col, 2010) propusieron un método para reducir el error de muestreo en las matrices de covarianza estimada por REML el cual se denomina penalización.

Materiales y métodos.

Se usaron los datos de la medida de suavidad en el musculo del pecho en pavos de raza Broad para estimar el índice de constancia (Repetibilidad). Diez medida de suavidad fueron medidas en el musculo del pavo, como las medidas fueron tomadas por 2 operadores diferentes, el efecto operador fue considerado como fijo. El modelo estadístico lineal que se utilizo es el siguiente:

$$\text{Suavidad} = \text{media} + \text{efecto del animal} + \text{efecto de operador} + \text{error}$$

Los datos utilizados son:

Pavo (1)	Operador (2)	y	1	2	y	1	2	y	1	2	y	1	2	y	1	2	y
1	1	2.3	2	1	2.2	3	1	2.1	4	1	2.3	5	1	2.1	6	1	2
1	2	2.2	2	2	3.1	3	2	2.6	4	2	2.4	5	2	2	6	2	1.9
1	1	2.2	2	1	2.7	3	1	2.7	4	1	2.1	5	1	2.2	6	1	2.6
1	2	3	2	2	2.2	3	2	2	4	2	2.6	5	2	2	6	2	2.5
1	1	2.4	2	1	2.5	3	1	1.9	4	1	2	5	1	2	6	1	2.3
1	2	2.8	2	2	2.6	3	2	1.9	4	2	1.7	5	2	1.8	6	2	2
1	1	2.6	2	1	2.9	3	1	1.8	4	1	2.4	5	1	2	6	1	2.5
1	2	2.5	2	2	2.3	3	2	2.3	4	2	2.1	5	2	1.7	6	2	2.2
1	1	2.5	2	1	2.2	3	1	2.1	4	1	2.5	5	1	1.8	6	1	2
1	2	2.3	2	2	3	3	2	2.2	4	2	2.7	5	2	1.7	6	2	1.7

En la base de datos, se tiene 60 registro (n) de suavidad, 6 niveles del factor animal (aleatorio) y 2 niveles para el efecto operador (fijo).

En la base de datos, se tiene 60 registro (n) de suavidad, 6 niveles del factor animal (aleatorio) y 2 niveles para el efecto operador (fijo).

Los componentes de varianza se estimaron usando las fórmulas para ML y REML y también con el paquete estadístico SAS versión 9.1, usando el procedimiento mixed.

La repetibilidad se estimó usando la siguiente formula (Becker, 1986):

$$R = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_s^2 + \sigma_w^2}$$

Donde:

σ_s^2 = Toda la varianza genetica mas una parte de la variabilidad propia del individuo.

σ_w^2 = Variacion residual.

R = repetibilidad estimada.

Los programas SAS usados son:

Programa SAS para ML.

Programa SAS para REML.

Resultados y discusiones.

En el cuadro 1, se presentan el cálculo de las sumas de cuadrados, grados de libertad y cuadrados medios del análisis.

Cuadro 1. Sumas de cuadrados (SC), grados de libertad (GL) y cuadrados medios (CM).

SCmedia	$\frac{(135.6)^2}{60} = 306.45$
SCs	$\frac{(24.5)^2 + \dots + (21.7)^2}{10} - \frac{(135.6)^2}{60}$ $= 2.6$
SCtotal	$2.3^2 + \dots + 1.7^2 - \frac{(135.6)^2}{60} = 7.064$
SCw	$7.064 - 2.6 = 4.47$
GLs	$6-1=5$
GLtotal	$60-1=59$
GL operador	$2-1=1$
GL w	$60-6-2+1=53$
CMs	$\frac{2.6}{5} = 0.52$
CMw	$\frac{4.47}{53} = 0.084$

Los resultados encontrados nos muestran una varianza dentro de las medidas del mismo individuo menor que la varianza entre los individuos.

Cuadro 2. Componentes de varianza calculados con ML y REML.

$\sigma_{S(ML)}^2$	$\frac{\frac{2.59}{6} - 0.082}{10} = 0.034$
$\sigma_{W(ML)}^2$	$[1 - \frac{2 - 1}{6(2(5) - 1)}] 0.084 = 0.082$
$\sigma_{S(REML)}^2$	$\frac{0.52 - 0.084}{10} = 0.043$
$\sigma_{W(REML)}^2$	0.084

Los resultados muestran componentes de varianza más pequeños para ML y más grandes para REML.

Cuadro 3. Repetibilidad estimada con ML y REML.

$R_{(ML)}$	$\frac{0.034}{0.082 + 0.034} = 0.29$
$R_{(REML)}$	$\frac{0.043}{0.084 + 0.043} = 0.34$

Los resultados demuestran una estimación de repetibilidad más grande con REML y más pequeña con ML.

En el cuadrado 4, se presentan los reportes del programa SAS para los componentes de varianza estimados.

Cuadro 4. Componentes de varianza estimados con SAS.

Salida proc mixed para ML	The Mixed Procedure Covariance Parameter Estimates Cov Parm Estimate pavo 0.03500 Residual 0.08269
Salida proc mixed para REML	The Mixed Procedure Covariance Parameter Estimates Cov Parm Estimate pavo 0.04349 Residual 0.08425

Los resultados encontrados son idénticos a los calculados de manera manual, por lo tanto, se afirma que el cálculo es correcto.

La estimación de R por ML es pequeña debido a que su varianza fenotípica está asociada a n grados de libertad, es decir, esta sesgada, por lo tanto, es aconsejable la utilización de REML si se tiene la incertidumbre de que el sesgo ocasionado en la estimación de ML es insignificante (en muestras grandes, el sesgo es mínimo en ML).

Bibliografía.

Becker, Walter. (1986). Manual de Genética Cuantitativa. Academic Enterprises.

Gutiérrez, Pablo. (2012). Iniciación a la valoración Genética Animal. Metodología adaptada al EEES. Editorial Complutense.

Hartley, H. O. y Rao, J. N. K. (1967), "Maximum Likelihood Estimation for the Mixed Analysis of Variance Model", *Biometrika*, 54, 93-108.

Meyer, K. and Mark K. (2004) Restricted maximum likelihood estimation of genetic principal components and smoothed covariance matrices. Animal Genetics and Breeding Unit, University of New England.

Karin Meyer and Mark Kirkpatrick (2010). Better estimates of genetic covariance matrices by 'bending' using penalized maximum likelihood. Animal Genetics and Breeding Unit1. University of New England, Armidale NSW 2351, Australia.

Mrode, Raphael and Thompson, Robin. (2005) linear models for the prediction of animal breeding values second edition. CABI Publishing is a division of CAB International.

Patterson, H. D. y Thompson, R. (1971), "Recovery of Inter-Block Information When Block Sizes are Unequal,"

Biometrika, 58, 545-554.

Searle, S. R.; Casella, G. and McCulloch, C. E. (1992). Variance Components, New York: Wiley.

Sistemas de producción de huevo alternativos ¿Económica y productivamente viables?

INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de la avicultura podemos dividirla en 3 grandes rubros. El primer rubro es la avicultura de traspatio, la cual se refiere a pequeñas producciones para autoconsumo o venta a nivel local, muchas de ellas se dan en zonas rurales del sur de México, la importancia de este tipo de producciones radica en el movimiento de la economía local. El segundo rubro es la avicultura industrial, la cual es la más estudiada y difundida a nivel mundial, y su aportación a la producción de proteína a nivel mundial es imperante en la actualidad. Y el último rubro, pero no menos importante es la llamada avicultura alternativa, la cual tiene mayor difusión en la Unión Europea, pero que con el paso del tiempo se podrá encontrar en cualquier país. Su origen se da por la preocupación del consumidor por saber de donde procede su alimento, el cómo se crían las gallinas y sin pensarlo por el bienestar de las gallinas, lo que ha provocado que sea una alternativa real, a pesar del costo elevado del producto.

Ante el surgimiento de la avicultura alternativa debemos preguntarnos ¿es viable económicamente? ¿Qué tan productivas son las gallinas de postura en este tipo de sistemas? ¿en realidad es una buena alternativa? En este texto revisaremos los diferentes sistemas de producción y retomaremos algunos estudios realizados para conocer el comportamiento productivo y económico.

Las tendencias actuales del mercado han sido modificadas en los últimos 20 años, esto favorecido por una tendencia social, los cambios en los hábitos de consumo, estos últimos, determinados por el estilo de vida, dieta, salud, composición familiar y costo del producto (Thornton, 2010).

En los Estados Unidos de América, para el año 2017, se estima un crecimiento en sistemas de gallinas libres, de 30 millones de gallinas a 46 millones de gallinas en libertad. (Castello, 2015).

En la Unión Europea, ya que desde el año 2013, se estima un crecimiento anual del 2% de huevo campero (Subdirección general de productos ganaderos, 2013).

¿Qué pasa en México?, en las zonas rurales de México, existen producciones de traspatio, las cuales tienen como objetivo un autoconsumo o una venta local, también existen pequeñas y medianas empresas que suelen comercializar en tianguis orgánicos, ferias o con puntos fijos de venta a nivel local con la etiqueta de “huevo de rancho” o “huevo de gallina libre”. Actualmente más del 90% del total de la producción de huevo, proviene de sistemas convencionales, es decir, de gallinas en jaulas o batería el resto viene de pequeñas o medianas producciones que apuestan a sistemas alternativos de producción de huevo.

Los consumidores, cada vez exigen saber de dónde viene y en qué condiciones fueron obtenidos los productos finales, es por ello, que la exigencia es generar más conocimiento entorno al manejo de estos sistemas, analizarlos, legislarlos y hacerlos eficientes, esto con asesoría de Médicos Veterinarios Zootecnistas.

Los sistemas alternativos de producción de huevo reconocidos en la Unión Europea son:

- **Jaula enriquecida**

Este sistema toma como base la jaula de producción convencional, el mayor cambio, es el aumento de tamaño en todas sus dimensiones y permiten la colocación de implementos que ayudarán a las aves a tener un mayor repertorio de comportamientos naturales, con lo cual, el objetivo es la mejora del bienestar animal y la expresión del comportamiento natural de la gallina. (Büttow, 2009). Los alojamientos contarán con mínimo 18cm de percha, $\frac{3}{4}$ del suelo debe contar con arena, nidos, comederos y bebederos. (Riocerezo, 2021). Las jaulas enriquecidas deben proporcionar las siguientes condiciones: de 600 a 750 cm², altura mínima de 45cm y un área mínima total de 2000cm², dentro de esta superficie mínima, no se cuentan nidos, bebederos, comederos. La superficie mínima de comederos es de 12cm por gallina. (Riocerezo,2021). Este sistema es reconocido por la Unión Europea y las jaulas convencionales, debieron ser sustituidas desde enero de 2012.

- **Sistema de producción campero**

Este sistema tiene el objetivo de obtener un producto de máxima calidad, optimizando los recursos naturales de los que se hace uso y priorizando el bienestar animal de las aves. En el sistema campero, las aves tendrán acceso a espacios abiertos, bien delimitados y con refugios para evitar la caza por depredadores, el objetivo principal de los espacios abiertos es que las aves, expresen su comportamiento natural, como asolearse, tomar baños de tierra, rascar y picotear forraje nativo e incluso, el consumo de insectos como parte de un complemento de la dieta que llevan. Este sistema deberá tener 70% de alimentación comercial y el 30% restante deberá ser obtenido del picoteo. Las razas usadas en este tipo de sistema suelen ser doble propósito, se prefiere que sean aves de la zona, para que se encuentren adaptadas a las condiciones climáticas de la región.

- **Sistema de producción orgánico**

Este sistema productivo debe cumplir con las especificaciones que impone la normativa de la producción de huevos camperos y cumplir, además, la normativa específica de producción ecológica, que impone más restricciones al uso de alimentos y tratamientos, amplía los espacios que los animales disfrutan dentro de la instalación y en los patios de recreo. Actualmente, es la producción minoritaria en Europa. Todos los alimentos disponibles para las gallinas deben estar certificados en producción ecológica, desde los cultivos realizados en los patios hasta el pienso que se dispensa en los comederos. Además, al menos el 70 % de la alimentación de las gallinas estará constituido por cereales. La luz artificial está limitada con el fin de no alterar el fotoperiodo natural de los animales; en general, no pueden recibir más de 16 horas de luz diaria. Se limita el tamaño general de la granja a 3.000 gallinas por instalación y el espacio interior permitirá una densidad máxima de 6 gallinas/m². (Riocerezo, 2021). Además, esta estrictamente prohibido el uso de antibióticos y no se pueden usar subproductos derivados de las aves.

DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DE LA UPP

La Unidad Pecuaria Productiva (UPP) se encuentra localizada en el municipio de Amecameca, Estado de México, cuenta con un clima semifrío y subhúmedo, con temperatura promedio anual de 14.1°C, con elevación de 2,480 msnm y vientos dominantes del norte (Municipio de Amecameca, 2022).

La UPP, cuenta con un lote de 650 gallinas, de las cuales, 250 fueron otorgadas por el gobierno municipal y estatal y los 400 restantes fueron adquiridas a partir de la asesoría otorgada. La línea genética que predomina es Isa Brown, al momento de la redacción de este trabajo, se tienen 25 semanas de edad. Se maneja bajo el sistema campero, es decir, tiene acceso al exterior, y cuentan con espacio para poder expresar su comportamiento natural, optimizando los recursos del medio ambiente. El refugio mide 9mx12m, dando un total de 108m², la densidad que se tiene por metro cuadrado es de 6 gallinas/m². No cuenta con nidos, ya que realizan recolección manual 3 veces al día, el piso tiene cama de viruta, se les da 6 horas de luz artificial y 10 horas de luz natural. El alimento comercial contiene 16% de proteína cruda. Cuentan con alfalfa en el piso para que picoteen y, al tener conocimientos en lombricomposta, tienen acceso a la misma. El agua proviene de un pozo interno, dando agua a libertad a las aves.

Las variables analizadas son: promedio semanal de producción (%), peso de huevo (g), conversión alimenticia semanal, masa de huevo/ave/día y piezas por ave encasetada.

Para el análisis económico se calcularon los Costos Fijos Totales (CFT), para lo cual se consideraron los siguientes insumos: Costo de la gallina, costos mensuales de luz, agua, gasolina, mano de obra, medicamentos y empaquetado, se sumó y se dividió entre la producción mensual del primer mes. Se calculó el costo total del insumo, a través de la siguiente fórmula: $CM_{gx} = \text{Cambio del costo total del insumo} / \text{cambio de nivel de insumo}$.

Se calculó el Costo total de la siguiente manera: $CT = CM_{gx} * CFT$

Se calculó Ingreso total (PFT), con la siguiente fórmula: Precio de Kilogramo a la venta * Producción de huevo acumulado

Y finalmente se calculó la utilidad o pérdida: $PFT - C$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 1. Resultados promedio obtenidos del lote de estudio en 61 semanas de producción de una parvada Isa Brown, en un sistema campero.

Variable	Lote de estudio	Manual Isa Brown
Producción, %	82.67	85.17
Peso promedio de huevo, g	60.1	62.9
Conversión alimenticia semanal en kg:kg	2.880	2.140
Huevo acumulado/ ave, kg	21.20	24.20
Masa de huevo ave día, g	2.544	46.90
Huevos/ ave encasetada, pza	267.9	386

Figura 1. Producción de huevo semanal en lote de estudio de gallinas alojadas en un sistema campero

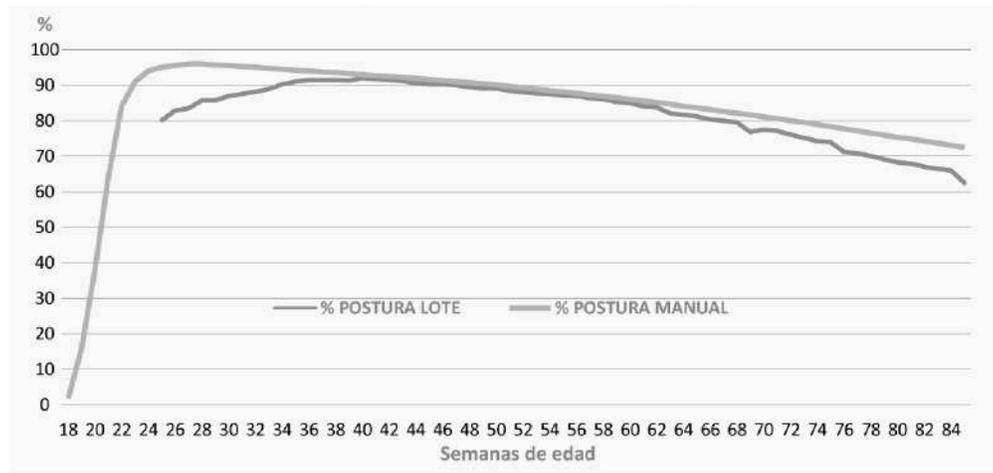
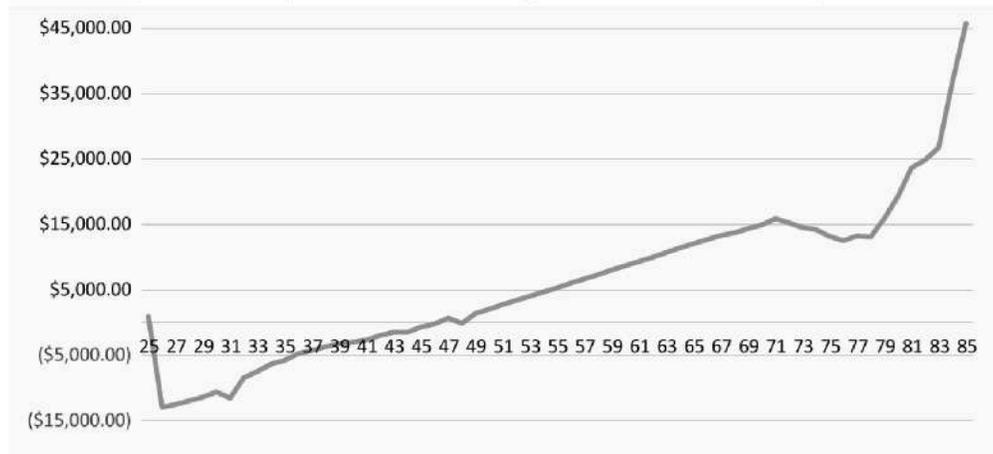


Figura 2. Utilidad o perdida del lote de gallinas en sistema campero



Los resultados obtenidos durante las semanas de producción se muestran en el Cuadro 1. Donde se observa que la producción de huevo del lote de estudio fue 2.6% menor a lo que menciona el manual de la estirpe (85.17%), La paridad entre ambos porcentajes se debe al programa de iluminación establecido dándoles en promedio un total de 16 horas al día. Aunado a lo anterior, se verificó que la iluminación fuese constante por el tipo de focos (led) que se emplearon y el nulo parpadeo que estos emitieron evitando estrés en las gallinas.

Dos rubros en los que se tienen áreas de oportunidad es el peso promedio de huevo y la conversión alimenticia. El peso promedio de huevo del lote esta 4.4% por debajo a lo que menciona el manual de la estirpe y la conversión alimenticia esta elevado en 25.6%, tomando el 100% a lo que marca el manual de la estirpe (ISA BROWN, 2011), el lote tuvo 267.9 piezas, sin embargo, por tener menor peso de huevo se obtuvieron menos cantidad de kilos de lo que menciona el manual de la estirpe.

En la **Figura 1**, se muestra la producción semanal del lote comparado con el manual de la estirpe, se observa que el lote, comenzó el estudio a la semana 25, es decir, 8 semanas más a lo que menciona el manual de la estirpe (Brown, 2011), esto debido a que en la semana 25 fue cuando buscan la asesoría. En la curva del lote se observa que para alcanzar el pico de producción fue hasta la semana 37, manteniéndose por dos semanas la persistencia del pico, siendo 9 semanas después de lo que fue el manual de la estirpe.

De la semana 40 a la semana 47, se puede observar una similitud entre la curva de postura del lote de estudio y lo esperado, durante estas semanas se puede notar que la postura se encuentra por arriba del 90%. La similitud entre ambas curvas puede deberse a que la curva de postura del manual va en descenso, mientras que la curva del lote de estudio muestra la persistencia por arriba del 90%, lo cual las hace coincidir en algunas semanas.

En la **Figura 2**, se muestra el comportamiento de ganancia o pérdida de la parvada de estudio, a la semana 24 de estudio, 48 de producción, representan pérdidas para el productor. Para el estudio, se estimó un precio promedio por kilogramo de \$68.90, los puntos de venta son a nivel local en granja, en tianguis de pequeños productores organizados por el gobierno municipal, estatal y escuelas locales. La semana 47 de producción, tuvo ganancias de \$714.50, esto debido al aumento de precio en esta semana. A la semana 85 de producción se tuvieron ganancias de \$45,744.10, al cierre del estudio.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos del lote de estudio podemos concluir que la producción de huevo en sistema campero con una asesoría adecuada, capacitación del personal y supervisión por parte del MVZ se puede obtener una producción cercana a la del manual de la estirpe a partir de la semana 48 de producción. Se estima que si el lote se hubiese supervisado desde la semana que rompieron postura (semana 18), las ganancias hubiesen iniciado a partir de la semana 12 de producción (semana 30).

BIBLIOGRAFÍA

1. Carlos Palacios Riocerezo. (2021). Descripción de los sistemas de producción alternativa avícola. En Producción sostenible en avicultura (11-23). España: SERVET.
2. Büttow R.V.F.. (2009). Floor versus cage rearing: effects on production, egg quality and physical condition of laying hens housed in furnished cages. 8 de agosto de 2022, de Scielo Brasil Sitio web: <https://www.scielo.br/j/cr/a/4rML34wDgf9J6vV5CSRHfCg/?lang=en>
3. Thornton P.K.. (2010). Livestock production: recent trends, future prospects. 08 de agosto de 2022, de PubMed Sitio web: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20713389/#:~:text=Livestock%20production%20is%20likely%20to,and%20changing%20socio%2Dcultural%20values.>
4. Castelló J.A (2015). Economía y producción avícola. 08 de agosto de 2022, de Selecciones avícolas. Sitio web: <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2015/12/038-041-Congresos-Economia-y-produccion-avicola-Castello-SA2015121.pdf>
5. Castelló J.A (2010). La producción y la economía avícola, de la mano en Europa. 08 de agosto de 2022, de Selecciones avícolas. Sitio web: <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2013/12/014-018-Produccion-economia-avicola-Castello-SA201312.pdf>
6. Subdirección General de Productos Ganaderos (2017). El sector de la avicultura de puesta en cifras. Principales indicadores económicos en 2016. Consultada en agosto de 2022. Sitio web: <http://agricultura.gencat.cat/web/>

7. Municipio de Amecameca. (2022, agosto). Página oficial del municipio de Amecameca, Estado de México.
<https://amecameca.gob.mx/>

8. BROWN, I. (2011). Guía de manejo de la nutrición de ponedoras comerciales.
<https://www.solla.com/sites/default/files/productos/secciones/adjuntos/Guia%20de%20Manejo%20General%20de%20ponedoras%20comerciales%20ISA%20Brown.pdf>

Expresión de genes de choque térmico en bovinos de doble propósito expuestos a estrés calórico

Torres-Heredia A¹, Barradas-Piña FT², Montero-Lagunes M², Guzmán-Rodríguez LF³, Martínez-Velázquez G⁴, Ríos-Utrera A², Montaña-Bermúdez M⁵ y Vega-Murillo VE.¹

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. ²Campo experimental La Posta, INIFAP. ³Centro Nacional de Recursos Genéticos, INIFAP, ⁴Campo experimental El Verdineño, INIFAP, ⁵Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Genético, INIFAP vvega@uv.mx

El cambio climático impacta nuestros ecosistemas llevando a los seres vivos a sobrevivir en condiciones cada vez más extremas. El incremento de la temperatura ambiental continúa su curso a pesar de las diferentes medidas que se han tomado para mitigar este problema, el cual afecta al sector ganadero, disminuyendo los índices productivos y reproductivos. La respuesta animal a este evento es intentar una aclimatación exitosa para evitar los estragos que el estrés calórico provoca en el organismo.

La aclimatación es la respuesta fenotípica desarrollada por los animales a una fuente específica de estrés ambiental (Nardone *et al.*, 2010). La termo-tolerancia adquirida es transitoria en la naturaleza y depende principalmente de la severidad inicial del estrés calórico, a mayor dosis inicial de calor, mayor magnitud y duración de la termo-tolerancia (Kregel, 2002).

La identificación de adaptabilidad en las diferentes razas bovinas tiene como finalidad encontrar cual se adapta mejor a un ecosistema específico, así como se ha estado buscado frecuentemente en las zonas tropicales y subtropicales, en donde es muy común la introducción de razas occidentales de animales domésticos y éstas sufran un balance negativo de energía, así como un aumento de temperatura y frecuencia respiratoria causado por estrés calórico (Bañuelos, 2005).

Se han estado utilizando las proteínas de choque térmico (*hsp*, por sus siglas en inglés) como un indicador de adaptabilidad de los bovinos al estrés calórico, ya que estas proteínas son mediadoras de la respuesta al choque térmico (Hyder *et al.*, 2017).

Una de las primeras funciones fisiológicas asociadas con la acumulación inducida por el estrés de la *hsp70* es la termo-tolerancia adquirida. Diversos estudios han demostrado que la inducción de la *hsp70* en roedores está asociada con el desarrollo de la tolerancia a una variedad de tipos de estrés, incluyendo hipoxia, isquemia, acidosis, desgaste energético, citoquinas, como el factor de necrosis tumoral, y radiación ultravioleta (Barbe *et al.*, 1988; Marber *et al.*, 1995; Sciandra & Subject, 1983).

La estimación de la magnitud de la expresión de genes *hsp* en bovinos puede ayudar a desarrollar futuros programas de cruzamiento al identificar animales que puedan mantener una mayor integridad celular y homeostasis bajo estrés calórico. Con base en lo anterior, se realizó un estudio en el que se planteó que podrían existir diferencias en la expresión de los genes *hsp* en relación con la hora de la toma de muestra, el grupo racial,

el porcentaje de genes *Bos taurus* y el estado fisiológico de vacas de doble propósito en clima tropical.

Se tomaron muestras de sangre de 33 hembras bovinas cruzadas Holstein x Cebú y Suizo Pardo x Cebú, en lactación y horas, pertenecientes a un hato de doble propósito del campo experimental La Posta del INIFAP. Se obtuvieron la temperatura ambiental (T) y la humedad relativa (HR) a través de una estación climatológica y con estos valores se determinó el índice de temperatura-humedad relativa (ITH) para tenerlo como referencia, ya que con un índice de 72 e incluso a veces menor los bovinos comienzan a presentar estrés calórico. El estudio se llevó a cabo en el mes de agosto, cuando la temperatura es más alta. Las muestras se colectaron en dos diferentes periodos del día, en la mañana, de 07:00 a 09:00 horas, y en la tarde, de 13:00 a 15:00 horas.

Se colectaron 5 ml de sangre de la vena coxígea en tubos con EDTA y se mantuvieron en cadena fría hasta su arribo al laboratorio. El mRNA se obtuvo mediante el método comercial SV Total RNA Isolation System de la marca Promega. Posteriormente, la concentración y pureza del mRNA se verificó por espectrofotometría en un equipo NanoDrop™ 2000 de la marca Thermo Fisher Scientific™. La síntesis del cDNA se realizó por retro-transcripción del mRNA con el método comercial GoScript™ Reverse Transcription System de la marca Promega.

El análisis de la expresión se llevó a cabo en los genes *hsp60*, *hsp70* y *hsp90*, para lo que se utilizó el gen endógeno β -actina como gen constitutivo de referencia. Los genes se amplificaron por qPCR dúplex en un equipo StepOnePlus™ Real-Time System con iniciadores y sondas marcadas con fluorescencia. Las sondas de los genes *hsp* se marcaron con el fluoróforo FAM y el gen β -actina con el fluoróforo HEX. El silenciador empleado en todas las sondas fue TAMRA.

La mezcla de reacción se realizó en un volumen final de 15 μ L, con 1X de TaqMan® Fast Advanced Master Mix de la marca Thermo Fisher Scientific™, 400 nM de los iniciadores sentido y antisentido, 200 nM de sonda marcada y 200 ng de DNA.

Para el gen *hsp60*, las condiciones de amplificación fueron un ciclo de desnaturalización inicial a 95°C durante 10 minutos y 45 ciclos de desnaturalización a 95°C durante 15 segundos y alineamiento/extensión a 65°C durante 60 segundos, mientras que para los genes *hsp70* y *hsp90* fueron un ciclo de desnaturalización inicial a 95°C durante 10 minutos y 45 ciclos de desnaturalización a 95°C durante 15 segundos, alineamiento a 65 y 62°C, respectivamente y extensión a 72°C durante 40 segundos.

La expresión de los genes *hsp* se determinó con el método comparativo $\Delta\Delta$ Ct (método de cuantificación relativa), usando el gen β -actina de referencia, comparado contra un animal de referencia. El método de cuantificación permite conocer la concentración presente en una muestra, es decir, el número de copias que se van a expresar de ese gen en la muestra. Entre menor sea el número de ciclos del gen existe mayor expresión, por lo tanto, el $\Delta\Delta$ Ct será menor cuando exista un incremento de dichos ciclos.

El análisis estadístico de la expresión de los genes *hsp60*, *hsp90* y *hsp70* se llevó a cabo con un modelo de mediciones repetidas, utilizando PROC MIXED de SAS, versión 9.3 (SAS Institute Inc, 2013). En el análisis estadístico se consideraron los animales a partir de los cuales se obtuvo amplificación del gen *hsp* y el gen de referencia β -actina, con valores Ct menores a 40; se descartaron aquellos que no cumplieron con estos criterios. Se determinó la estructura de covarianzas adecuada para el ajuste de los datos probando 8 diferentes estructuras de covarianzas: simple, simetría compuesta, autorregresiva de primer orden, Toeplitz, componentes de varianza, autorregresiva de primer orden heterogénea, simetría compuesta heterogénea y Toeplitz heterogénea. La selección de la mejor estructura de covarianzas se basó en los criterios de información de ajuste de Akaike, de

segundo orden y bayesiano de Schwarz.

Los efectos incluidos en el modelo estadístico fueron hora del día, grupo racial, estatus productivo (en ordeña o horra), edad, porcentaje de genes *Bos taurus* y la interacción de los factores con la hora del día. Para obtener los modelos definitivos, se eliminaron las interacciones que no fueron significativas ($P > 0.05$) en los análisis preliminares, previa selección de la estructura de covarianzas que causó el mejor ajuste en el modelo. La comparación de medias se realizó con la prueba de comparaciones múltiples de t protegida de Fisher.

Resultados

Los valores promedio de la frecuencia respiratoria, la temperatura corporal y la expresión de los genes *hsp60*, *hsp70* y *hsp90* de los bovinos Holstein x Cebú y Suizo Pardo x Cebú, en lactación y horras, se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de las variables estudiadas.

Variable	N	Media	DE	Mínimo	Máximo
Frecuencia respiratoria	62	24.38	2.62	19.00	29.00
<i>hsp60</i>	59	1.23	2.40	0.01	12.55
<i>hsp70</i>	60	0.64	1.30	0.00	5.51
<i>hsp90</i>	54	1.04	2.92	0.01	18.98
Temperatura corporal	55	38.69	1.07	36.10	40.45

Los valores mínimo, máximo y promedio para el ITH fueron 72.64, 77.24 y 74.81 para las mediciones realizadas en la mañana y 81.83, 91.03 y 86.58 para las mediciones realizadas durante las tardes, respectivamente. Los ITH observados en las mañanas se pueden considerar como moderados y los observados en las tardes como severos.

La estructura de covarianza que dio el mejor ajuste de los datos, basado en los criterios de información de ajuste de Akaike, de segundo orden y bayesiano de Schwarz, fue la autorregresiva de primer orden. El efecto de la hora del día (AM o PM) tuvo un impacto significativo en la expresión de los genes *hsp60* y *hsp70*, así como en la temperatura corporal y frecuencia respiratoria, ya que estas variables se encontraban elevadas en las muestras tomadas en la tarde, indicando que la hora de muestreo influye en la expresión de los genes *hsp*. 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 estadísticamente significativa únicamente para el gen *hsp70*. El efecto del estado fisiológico (en ordeña o horra) fue significativo únicamente para la expresión del gen *hsp90*. Las medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para las variables estudiadas se presentan en el Cuadro 2.

Los valores de expresión del gen *hsp70* obtenidos en el presente estudio son similares a los obtenidos en estudios realizados en distintas razas bovinas y búfalos que comparaban la expresión de los genes *hsp60*, *hsp70* y *hsp90* (Kumar *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2016; Hooper *et al.*, 2019; Shandilya *et al.*, 2020). También se ha demostrado una expresión mayor del gen *hsp60* en comparación con la expresión de los genes *hsp70* y *hsp90* (Hooper *et al.*, 2019).

La variación de la expresión de los genes *hsp* entre animales puede deberse a diferencias en adaptabilidad individual y a la manera de responder ante el estrés calórico Kumar *et al.* (2018) identificaron al gen *hsp70* como un mejor

marcador del estrés calórico que el gen *hsp90*. Animales menos adaptados muestran una expresión mayor del gen *hsp70*, sugiriendo que puede ser un indicador de animales con mayor adaptabilidad (Bretanha *et al.*, 2019).

Durante un estudio realizado con bovinos Simbrah de diferentes localidades tropicales del territorio mexicano, se encontró que la expresión del gen *hsp60* fue mayor en las muestras de sangre tomadas al medio día que en las muestras tomadas en la madrugada (Guzmán *et al.*, 2021). Por otra parte, en un estudio previo en la misma raza no se encontraron diferencias entre los individuos y la expresión del gen *hsp60*, aunque si hubo diferencias entre los valores de las muestras tomadas en la madrugada y al medio día (Guzmán *et al.*, 2019).

Se han observado mutaciones en el gen *hsp70* que tienen influencia en características de importancia económica, como tolerancia al calor y producción de leche, que posteriormente pueden ser identificadas para su uso como marcadores genéticos para obtener características específicas. Estas mutaciones se han encontrado en ganado Bos Taurus (Angus), Bos Indicus (Brahman) y sus cruza, indicando que estas mutaciones pueden ser heredadas (Kumar *et al.*, 2019).

Los genes de proteínas de choque térmico y sus variaciones (polimorfismos) se han asociado con el descenso de la fertilidad. Se ha detectado la expresión de *hsp* en los gametos y en embriones, lo cual quiere decir que está relacionada con la supervivencia del embrión, para que éste llegue a término. Se ha sugerido que debido al tiempo en el que se desarrollan los gametos, están expuestos a condiciones adversas durante su maduración, lo cual puede resultar en un mal desarrollo y maduración del óvulo, lo cual podría afectar la reproducción (Rosenkrans *et al.*, 2010). Por otro lado, Paula-Lopes *et al.* (2003) demostraron que embriones de ganado Brahman tienen mejor índice de supervivencia ante la exposición a altas temperaturas que embriones de Angus y Holstein.

A pesar de que el método estándar para cuantificar la expresión de los genes de *hsp* es la PCR, también se ha utilizado la prueba de ELISA para determinar la expresión del gen *hsp70* en la saliva de vacas lecheras, encontrando que las vacas con mayor producción de leche expuestas a estrés calórico presentaban mayor concentración que las vacas con menor producción de leche expuestas a las mismas condiciones climáticas. El análisis de la saliva con la prueba de ELISA para la identificación del gen es un método no invasivo que se puede utilizar en futuras investigaciones (Lamy *et al.*, 2017).

En conclusión, la expresión de los genes *hsp* son un buen indicador para identificar bovinos para termo-tolerancia lo cual tendría como consecuencia menos estragos por el aumento de las temperaturas y mayores índices de productividad en los hatos.

Cuadro 2.

Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar para la expresión relativa normalizada de los genes *hsp60*, *hsp70* y *hsp90* y 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
Hora del día	AM	1.61 ± 0.41 ^a	0.99 ± 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 ± 0.43 ^b
Porcentaje de genes	0.63	0.95 ± 0.61 ^a	0.57 ± 0.32 ^a	0.37 ± 0.13 ^a	38.66 ± 0.13 ^a	24.31 ± 0.39 ^a
	0.75	1.63 ± 0.52 ^a	0.87 ± 0.26 ^b	0.16 ± 0.13 ^a	38.75 ± 0.12 ^a	25.64 ± 0.43 ^a
Grupo racial	Holstein x Cebú	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
	Suizo Pardo x Cebú	2.13 ± 0.64 ^a	1.28 ± 0.32 ^b	0.26 ± 0.12 ^a	38.64 ± 0.14 ^a	24.26 ± 0.32 ^a
Estado fisiológico	Horra	1.15 ± 0.59 ^a	0.76 ± 0.30 ^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 ± 0.32 ^a

^{a,b} Medias con distinta literal son diferentes (P<0.05)

Literatura citada

Bañuelos, R. (2005). La proteína de estrés calórico Hsp70 funciona como un indicador de adaptación de los bovinos a las zonas áridas. REDVET. https://www.researchgate.net/publication/26447049_La_proteina_de_estres_calorico_Hsp70_funciona_como_un_indicador_de_adaptacion_de_los_bovinos_a_las_zonas_aridas

Barbe, M. F., Tytell, M., Gower, D. J., & Welch, W. J. (1988). Hyperthermia protects against light damage in the rat retina. *Science*, 241(4874), 1817–1820. <https://doi.org/10.1126/science.3175623>

Bretanha, F., Renata Baena, M. M., de Cássia Estopa, A., Gervásio, I. C., Guaratini Ibelli, A. M., Santos Gionbelli, T. R., Gionbelli, M. P., Fonseca de Freitas, R. T., & Conceição Meirelles, S. L. (2019). Differential expression of HSF1 and HSPA6 genes and physiological responses in Angus and Simmental cattle breeds. *Journal of Thermal Biology*, 84, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.06.002>

Guzman, L., Villaseñor, F., Vega, V., Roman, S., & Bermúdez, M. (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., Martinez, G., Villaseñor, F., Fránquez, J., Utrera, A., Bermúdez, M., & Vega, V. (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

Hooper, H. B., Titto, C. G., Gonella-Díaz, A. M., Henrique, F. L., Pulido-Rodríguez, L. F., Longo, A. L. S., Leme-dos-Santos, T. M. da C., Geraldo, A. C. A. P. de M., Pereira, A. M. F., Binelli, M., Balieiro, J. C. de C., & Titto, E. A. L. (2019). Heat loss efficiency and HSPs gene expression of Nellore cows in tropical climate conditions. *International Journal of Biometeorology*, 63(11), 1475–1486. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1576-5>

Hu, H., Zhang, Y., Zheng, N., Cheng, J., & Wang, J. (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. <https://doi.org/10.1111/asj.12375>

Hyder, I., Pasumarti, M., Reddy, P. R., Prasad, C. S., Kumar, K. A., & Sejian, V. (2017). Thermotolerance in Domestic Ruminants: A HSP70 Perspective In: Asea A., Kaur P. (eds) *Heat Shock Proteins in Veterinary Medicine and Sciences*. Heat Shock Proteins, vol 12. Springer, Cham. (pp. 3–35). https://doi.org/10.1007/978-3-319-73377-7_1

Kregel, K. C. (2002). Invited review: Heat shock proteins: Modifying factors in physiological stress responses and acquired thermotolerance. In *Journal of Applied Physiology* (Vol. 92, Issue 5). <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01267.2001>

Kumar, A., Ashraf, S., Goud, T. S., Grewal, A., Singh, S. v., Yadav, B. R., & Upadhyay, R. C. (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. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.03.006>

Kumar, J., Madan, A. K., Kumar, M., Sirohi, R., Yadav, B., Reddy, A. V., & Swain, D. K. (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. <https://doi.org/10.1080/09291016.2017.1332842>

Kumar, B., Sahoo, A. K., Dayal, S., Das, A. K., Taraphder, S., Batabyal, S., Ray, P. K., & Kumari, R. (2019). Genetic profiling of Hsp70 gene in Murrah buffalo (*Bubalus bubalis*) under sub-tropical climate of India. *Cell Stress and Chaperones*, 24(6). <https://doi.org/10.1007/s12192-019-01042-7>

- Lamy, E., Jurkovich, V., Rodrigues, L., Geraldo, A., Cachucho, L., Silva, F., Matos, C., Capela Silva, F., Pinheiro, C., Könyves, L., Bakony, M., & Pereira, A. (2017). Detection of 70 kDa heat shock protein in the saliva of dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 84(3), 280–282. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000280>
- Marber, M. S., Mestril, R., Chi, S. H., Sayen, M. R., Yellon, D. M., & Dillmann, W. H. (1995). Overexpression of the rat inducible 70-kD heat stress protein in a transgenic mouse increases the resistance of the heart to ischemic injury. *Journal of Clinical Investigation*, 95(4). <https://doi.org/10.1172/JCI117815>
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Paula-Lopes, F. F., Chase, C. C., Jr, Al-Katanani, Y. M., Krininger, C. E., 3rd, Rivera, R. M., Tekin, S., Majewski, A. C., Ocon, O. M., Olson, T. A., & Hansen, P. J. (2003). Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of preimplantation embryos, reproductive tract tissues and lymphocytes to increased culture temperatures. *Reproduction (Cambridge, England)*, 125(2), 285–294. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1250285>
- Rosenkrans, C., Banks, A., Reiter, S., & Looper, M. (2010). Calving traits of crossbred Brahman cows are associated with Heat Shock Protein 70 genetic polymorphisms. *Animal Reproduction Science*, 119(3–4), 178–182. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.02.005>
- Sciandra, J. J., & Subjeck, J. R. (1983). The effects of glucose on protein synthesis and thermosensitivity in Chinese hamster ovary cells. *Journal of Biological Chemistry*, 258(20). [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(17\)44133-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(17)44133-0)
- Shandilya, U. K., Sharma, A., Sodhi, M., & Mukesh, M. (2020). Heat stress modulates differential response in skin fibroblast cells of native cattle (*Bos indicus*) and riverine buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Bioscience Reports*, 40(2). <https://doi.org/10.1042/BSR20191544/866610/bsr-2019-1544-t.pdf>

Impacto económico de la implementación de un programa de inseminación artificial a tiempo fijo con resincronización en una producción de becerro para engorda al norte del estado de Veracruz

1. Características del mercado

México es el sexto país consumidor de carne bovina con un promedio de 15.2 kg por habitante y el octavo productor de carne bovina en el mundo, en el 2021 se produjeron 3,872,195.877 T. de bovino en pie. Durante la última década, la producción nacional de carne de bovino ha presentado una tasa promedio de crecimiento anual de 1.6% y se estima que siga a la alza, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

El 42% de la producción de carne de bovino se concentra en 5 estados, Veracruz el principal con el 13%. Su ciclo de producción tiene 3 fases: la cría, preengorda y finalización.

La cría del becerro para engorda se produce en sistemas extensivos, es vendido a los 220-350 kg (preengorda a media ceba), para ser finalizado en corrales de engorda. Los becerros de cría tienen dos destinos principalmente, por un lado está el becerro de exportación, son de razas europeas especializadas en producción cárnica, se vende en pie principalmente a Estados Unidos y es producido en los estados del norte (Chihuahua, Sonora, Coahuila, Tamaulipas y Durango). Por otro lado, la producción de becerros para el mercado nacional, que se da en los estados del sur, sureste y centro occidente (Veracruz, Chiapas y Jalisco principalmente).

El sistema extensivo en el que se desarrolla la producción de becerros, tiene la ventaja de tener menores costos de producción, sin embargo la principal desventaja en México, es el rezago tecnológico en ésta área, lo cual ocasiona pobres índices de producción.

La eficiencia productiva de cualquier sistema de ganadería está estrechamente ligada a la eficiencia reproductiva, ya que cualquiera que sea el objetivo (producción de becerros para engorda en este caso), se requiere de un evento reproductivo.

Ilustración 1. Producción de becerro para engorda. Rancho al Norte de Veracruz. (Leyva, 2021)



2. Problemática del sistema de producción

Veracruz tiene un promedio de 1.8 UA/ha, sin embargo la producción de becerros no es suficiente para abastecer los corrales de engorda. En la producción en pastoreo se tienen varios problemas que afectan su rendimiento como lo son: el deficiente manejo de praderas, la marcada estacionalidad de la época de lluvia-seca y la falta de implementación de biotecnologías.



La mayor proporción de ganado de trópico es de razas *Bos indicus* o cruza cebú X *Bos taurus* que les proporciona una mayor resistencia a las condiciones climatológicas y de ectoparásitos de estas zona. Entre algunas de las desventajas que se pueden presentar con las razas cebuinas, se encuentra una edad mayor para alcanzar la pubertad que las de razas europeas y que suelen ser pagadas a menor precio que las europeas cárnicas.

En el trópico los sistemas de producción de becerro para engorda son bajo sistema extensivo por lo que la alimentación está basada en el pastoreo. El principal problema de este sistema radica en que la disponibilidad de

forrajes está ligada a las condiciones climatológicas; en época de lluvias el forraje es suficiente y en ocasiones excesivo, sin embargo en la época seca el forraje es insuficiente.

Esto ocasiona varios problemas que impactan en el aspecto económico de la unidad de producción de becerros para engorda:

- No se puede tener un número constante de animales ya que en cierta época del año, el alimento disponible por pastoreo es insuficiente.
- La condición corporal (CC) de los animales disminuye en la época de menor disponibilidad de forrajes.

Otro problema que se ve fuertemente reflejado en la producción de becerros de la mayoría de las producciones de trópico es el anestro postparto. El anestro postparto que no tiene un pronto manejo incrementa considerablemente los días abiertos de los vientres. Está afectado principalmente por dos factores: una CC baja la cual lo alarga y el amamantamiento al tiempo completo, el cual ocasiona el retraso al retorno de la ciclicidad y el desgaste físico de las hembras.

Una alternativa viable para la solución de los problemas reproductivos previamente descritos es la implementación de biotecnologías reproductivas como la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), la cual con algunos protocolos nos permite sincronizar novillas antes de la pubertad y vacas a los 40 días después del parto en anestro.

Sin embargo, el aspecto económico en la inversión que se necesita es un punto por el cual algunos ganaderos no la llevan a cabo en sus producciones.

Es posible demostrar el beneficio económico que la IATF genera en las utilidades de los ganaderos, mediante proyecciones de gastos e ingresos.

A continuación se presentará un análisis y proyección que se realizó en una unidad de producción en el Norte de Veracruz, en el municipio de Benito Juárez.

3. Desempeño de la proveeduría.

Primero, se realizó la evaluación productiva de los ranchos pertenecientes al mismo dueño, realizando un diagnóstico reproductivo mediante palpación rectal a las hembras del ható y analizando los registros que se llevan con un programa de uso ganadero. Los vientres de la unidad de producción son cruza de las razas brahman, suizo americano, simmental y nelore.

Al evaluar los parámetros reproductivos de la unidad de producción se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 1. Parámetros reproductivos de los ranchos.

Parámetro	"El Clarín"	"El Huastequillo"	Valor óptimo.
# de hembras en edad reproductiva (mayores a 36 meses)	133 animales	62 animales	
# de hembras disponibles para gestar	54 animales.	30 animales	
# gestantes	71 animales	32 animales	
% de preñez.	56.8%	51.61%	>75%
Intervalo entre partos promedio	609 días	735 días	365-385 días.
Días abiertos promedio.	266 días.	432 días.	85-100 días.
# de becerros nacidos			
(2018)	49	29	
(2019)	62	19	
% de partos anual			
(2018)	44.55%	53.7%	>70%
(2019)	54.39%	38%	
Tasa de cosecha de becerros	46.61%	30.64%	>70%
# de machos	7	2	Proporción 1:25-30

En la tabla 1, se puede observar que la producción de becerros es deficiente y para mejorarla debemos poner principal atención en disminuir los días abiertos y aumentar el porcentaje de preñez. La raza de los becerros es variable ya que no hay un control de cruzamiento.

- *Materia prima óptima de la industria.*

La materia prima óptima para llenar los corrales de engorda para su finalización es una producción de becerros constante, lotes uniformes con un peso entre 320-380 kg. y una edad no mayor de 20 meses, con historial sanitario completo, por NOM's libres de brúcela, tuberculosis y garrapatas. Algunos introductores pagan un poco más por becerros con raza o cruza con razas europeas cárnicas. El precio es variable, actualmente \$38.00 por kg. en pie.

- *Brecha de la materia prima óptima con los de la unidad de producción.*

El número de becerros que se vende cada año no es constante, hay años con una mayor producción de becerros y años con un menor número. Los pesos varían desde los 250-350 kg, no se lleva un programa de mejoramiento genético ni de sincronización reproductiva. En general el número de becerros destetados es mucho menor que el que se podría obtener en esta unidad de producción, variando entre un 45-55% de partos por año.

- *Brecha tecnológica del productor.*

El productor necesita introducir biotecnologías reproductivas, la más utilizada para solucionar los principales problemas en ganado de trópico cebuino como son la edad tardía a la pubertad y anestro prolongado postparto por amamantamiento es la IATF.

La IATF es una biotecnología que además de dar solución a los problemas reproductivos antes mencionados, proporciona mejoramiento genético, ya que seleccionando semen de toros probados, los becerros alcanzarán un mayor peso a menor tiempo.

4. Descripción de la tecnología óptima.

La clave de lograr un alto nivel de eficiencia reproductiva está en alcanzar muchos objetivos clave durante el ciclo de producción. La productividad de la hembra comienza en el inicio de la pubertad y será dictada por eventos críticos posteriores, como primer parto, duración del intervalo posparto en partos sucesivos, concepción y tasa de preñez. El inicio de la actividad ovárica en el posparto es un evento clave que dicta el intervalo de parto, el cual es un evento producto de la nutrición preparto, condición corporal y el manejo del amamantamiento.

La inseminación artificial es una técnica que consiste en la introducción del semen en el aparato genital de la hembra sin intervención del toro y enfatiza el mejoramiento genético de los hatos bovinos. Esta biotecnología a pesar de tener algunas desventajas como la necesidad de personal calificado y el equipo de inseminación, cuenta con muchas ventajas que la han hecho una práctica que cubre la mayoría de los establos lecheros y cada vez más producciones de carne.

Entre las principales ventajas del uso de la IATF se encuentra:

- Avance genético.
- Conservar material genético de los mejores toros del mundo en un mismo termo de criopreservación.
- La implementación de ciertos protocolos en los que se utilizan dispositivos de progesterona y eCG, permite inseminar un mayor número de animales en menor tiempo, incluyendo vacas amamantando, en anestro y de baja condición corporal.
- Disminuye intervalo generacional, días abiertos e intervalo entre partos del ganado cárnico, a causa de una intensificación del manejo reproductivo.
- Evitar la detección de celos.
- Disminuir el uso de sementales.

Para seleccionar el protocolo adecuado para la unidad de producción se debe tomar en cuenta:

- El tipo de ganado: razas.

- Las instalaciones y el personal.
- Si se puede realizar detección de celo.
- La condición de los animales: CC, edad, peso de las novillas (>60% del peso adulto, en promedio mayor a 320 kg), días postparto (>45 días) y estado de la función ovárica.
- Tiempo de duración del protocolo.
- Costos.
- Hormonales disponibles.

5. Oportunidades de negocio.

- Venta de lotes de becerros con un peso más uniforme y mejor encaste, lo cual proporcione un mejor precio de venta.
- Inseminación de las mejores vacas con mejores toros para vender sementales.
- Venta de becerras como pie de cría.
- A largo plazo implementar un sistema de doble propósito.

6. Implementación de un programa reproductivo para mejoramiento genético y de parámetros reproductivos.

Se propone sincronizar a los animales vacíos, con condición corporal (CC) mayor a 2.75 de 5 y más de 45 días postparto, para realizar un protocolo de inseminación a tiempo fijo (IATF). Con este protocolo se pretende realizar 1 IATF de retiro a 8 días y resincronización para repaso con toros para alcanzar al menos un 70% de gestación en el hato.

- Información técnica del programa de sincronización.

Dosis por animal 1 IATF + resincronización:

Ilustración 3. Momento de la IA, moco cristalino de celo (Loya, 2022)



Tabla 2. Materiales para el programa de sincronización.

Principio Activo	Dosis
Progesterona en dispositivo intravaginal. DIV	1-1.2 g / dispositivo
Benzoato de estradiol (BE).	3.5 mg
Cloprostenol (Pg).	0.150 mg
Cipionato de estradiol (CE)	1mg
Gonadotropina coriónica equina (eCG)	300 UI
Semen congelado	1 dosis

Calendario de sincronización.

Día 0	Día 8	Día 9	Día 10	Resincronización			
				Día 22	Día 29	Día 30	Día 30 - 33
DIV + 2mg BE			IATF 52-56 hrs post retiro (12 am aprox)	Reinserción dispositivo +1mg 8E	Retiro dispositivo	0.5 mg de BE	Repaso con toros

- Análisis financiero de la implementación de un programa reproductivo.

Actualmente la unidad de producción tiene los siguientes costos anuales (algunas de las cifras son estimadas ya que no se lleva un control exacto de algunos costos):

Tabla 3. Costos anuales de la producción.

Costos Fijos		Costos Variables		Activo Fijo	
		Medicamentos	\$80,000.00		
Mano de obra 3 vaqueros	\$205,920.00	Sales	\$40,000.00	Toros	\$180,000.00
Administración	60,000.00	Potreros (herbicidas)	150,000.00		
Servicios	24,000.00	Mano de obra de potreros	180,000.00		
Total	289,920.00		\$450,000.00		\$180,000.00

Gasto Total \$919,920.00

- Costos anuales de un programa reproductivo.

Los costos actualizados a la fecha Julio 2022 para implementar el programa reproductivo sugerido son los que se presentan a continuación.

Tabla 4. Material para la sincronización de 190 animales.

Hormonal	1 Vaca	190 Vacas	Unidad	Piezas	Costo total	Costo/pieza
Benzoato de estradiol	3.5	654.5	mg/ml	13 frascos 50 ml.	\$4.407	\$339
Dispositivos de P4	1	190	unidades	19 bolsas de 10 unidades	\$32.528	\$1.712
Prostaglandina	2	380	ml	19 frascos 20 ml.	\$4.883	\$257
eCG	300	57000	UI	12 frascos de	\$13.020	\$1.085
Cipionato de estradiol	1	190	ml	5000 UI.	1076	\$269.00
Fundas francesas	1	190	unidad	4 frascos de 50 ml.	138	69
Chemisses	1	190	unidad	2 bolsas de 50 pza.	416	208
Cuante para palpar	1	190	unidad	2 cajas	400	200
Semen	1	190	dosis	2 bolsas 100	41800	220
					\$98,668	
Dx. Reproductivo inicial	8850					
Servicios veterinarios	64350					
						Total \$163,018

Cabe mencionar que la unidad de producción cuenta con manga y prensa de manejo, equipo completo de inseminación y termo de criopreservación.

- Proyección de ingresos.

Proyección de ingresos de ingresos y egresos incluyendo y excluyendo un programa reproductivo durante 3 años (ciclo de producción), este análisis se inició en 2019 ya que se comenzó a trabajar en este rancho con IATF en el 2020. Cabe destacar que estas estimaciones se obtuvieron analizando los nacimientos de los años 2018 y 2019, además de las hembras que se encontraron gestantes al realizar el diagnóstico inicial en el 2019.

Tabla 5. Proyección de ingresos y egresos.

	2019		2020		2021		2022			
	Ingresos									
#Becerras para vender	93.84	Sin programa reproductivo	71.76	Con programa reproductivo	Sin programa reproductivo	80.96	Con programa reproductivo	Sin programa reproductivo	120.428	Con programa reproductivo
Kg venidos	300028.8	\$1,141,094.40	22963.2	\$872,601.60	\$872,601.60	25907.2	\$984,473.60	\$984,473.60	38536.96	\$1,502,941.44
Toro de desecho		\$50,000.00		\$50,000.00	\$50,000.00		\$50,000.00	\$50,000.00		\$50,000.00
Hembra desecho		\$132,000.00		\$132,000.00	\$132,000.00		\$132,000.00	\$132,000.00		\$132,000.00
Venta de sementales										\$100,000.00
Total ingresos		\$1,323,094.40		\$1,054,601.60	\$1,054,601.60		\$1,166,473.60	\$132,000.00		\$1,784,941.44
Total Egresos		\$919,920.00		\$1,044,218.00	\$910,920.00		\$1,044,218.00	\$919,920.00		\$1,044,218.00
SALDO		\$403,174.40		\$10,383.60	\$134,681.60		\$122,255.60	\$246,553.60		\$740,723.44

En la tabla 5 se muestra el saldo del 2019, en el saldo del 2020 hubo una disminución ya que se presentó un problema sanitario, esto refleja claramente la variación del número de becerros en venta cada año y por lo tanto las ganancias. En los años 2020 y 2021 en la columna de **con programa reproductivo** se ve el incremento en egresos y la disminución del saldo.

La ganancia se ve en el 2022, en la cual para el número de becerros se considera el 70% de parición de los vientres disponibles, una supervivencia del 92% de estos becerros a la venta. También se le subió \$1 por kg a la venta ya que son becerros de encaste europeo cárnico. Tiene un aumento en la ganancia de \$337,549.04 más a comparación del 2019 que de los 3 años que se compararon es el mejor y aumento en la ganancia de \$606,041.84 con el peor de los tres años que fue el 2020.

7. Conclusión.

La aplicación de tecnologías en áreas claves según el tipo de producción, pueden mejorar significativamente los parámetros productivos y por lo tanto los indicadores financieros de una unidad de producción.

Ilustración 4. Becerro nacido por IA: semen de raza Simmental, al lado de su madre cholla (Uxyva, 2022)



Como se puede ver en este ejemplo de producción en el norte de Veracruz, el incremento en las ganancias del rancho fue del 54% comparándolo con su mejor año y un 140% con el peor. Eso sin tomar en cuenta, que el rancho actualmente se encuentra en un momento de aumento del número de vientres, a 2022 se tiene un total de 240 vientres en ambos ranchos, ya que la implementación del pastoreo rotacional lo ha permitido.

Se ha demostrado que países como Brasil, con sistemas de producción y razas similares a las de México, ha tenido un incremento en su producción nacional en los últimos 30 años de un 176%, sin aumentar su inventario ganadero, gracias a la implementación de programas reproductivos intensivos y

un mejor manejo de sus praderas.

Es de vital importancia que como profesionistas promovamos el uso de buenas prácticas productivas y tener las herramientas para poder demostrar a los productores que nuevas inversiones en biotecnologías tendrán un impacto significativo en las ganancias del rancho.

Este beneficio se verá reflejado en el ámbito de desarrollo económico de la actividad primaria del país y habrá un menor impacto ambiental, ya que se producirá un mayor número de becerros en la misma superficie de terreno y con el mismo número de vientres.

Fuentes de consulta.

<http://infosiap.siap.gob.mx/>

<https://comecarne.org/compendio-estadistico-2021/>

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017__1_.pdf

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?

[IBIF_ex=D2_AGRIGAN04_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_AGRIGAN04_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*)

Sá Filho, M.F.; Galvão, A.L.; Amancio, M.J.; Rodrigues, A.D.; Monteiro, P.J.M.. Intensificação do uso da iatf em rebanhos de corte . Memorias del 13° Simposio Internacional de Reproducción Animal. Córdoba, Agosto de 2019.

Pietro S. Baruselli, Bruna L.C. Catussi, Laís Ângelo de Abreu, Laísa G. Silva, Flávia M. Elliff1, Bruno Gonzalez Freitas. Implementação de serviço precoce em novilhas zebuínas. Memorias del 13° Simposio Internacional de Reproducción Animal. Córdoba, Agosto de 2019.

Bó GA, Cutaia L. 2009. Actualización sobre protocolos de inseminación artificial a tiempo fijo en bovinos de leche utilizando dispositivos con progesterona . Taurus, Bs. As, 11(41), 20-34

Propuesta integral sustentable para el manejo de efluentes de origen porcino en la posta zootécnica de la FMVZ de la Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), en Tecamachalco, Puebla

¹ MVZ Olga María Bañuelos Maldonado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia BUAP. Maestría en Producción Animal Sostenible. 4 sur 304, Colonia Centro, C.P. 75480 Tecamachalco, Puebla. México.

^{1,2} Dr. Juan Ricardo Cruz Aviña. Facultad de Medicina y Zootecnia BUAP. Laboratorio de Medicina de la Conservación, Departamento de Fauna Silvestre, Km 7.5 Carr. Cañada Morelos El Salado, Tecamachalco C.P. 75470. Puebla, México.

¹ MC Noemí Pérez Mendoza. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia BUAP. Coordinadora de Posgrado. Maestría en Producción Animal Sostenible. 4 sur 304, Colonia Centro, C.P. 75480 Tecamachalco, Puebla. México.

RESUMEN

La producción porcícola ha crecido constantemente a nivel mundial y nacional, con ello la producción de residuos, bio aerosoles y desechos de las unidades de producción. En base a este criterio se hace necesario proponer alternativas integrales, sustentables, viables y que promuevan el bienestar animal. Como la reutilización de los fluidos y excretas, así como el abastecimiento de alimentación a otros animales, la utilización como fertilizantes orgánicos como sustituto a fertilizantes químicos y la producción de energía a partir del manejo de los desechos, y con esto obtener un cierto beneficio para la producción desde un mejor rendimiento de suelos, producción animal y aprovechamiento de energía reduciendo costos de alimentación, manejo y sobre todo disminuyendo el efecto contaminante que estos residuos ocasionan al medio ambiente por la liberación de gases contaminantes, tanto para la salud animal y humana. El presente trabajo propone diversas alternativas para la reducción de contaminantes al ambiente y de qué manera aprovechar la reutilización de las excretas porcinas y mejorar la productividad del sector agrícola y la productividad en alimentación animal. Posta Zootécnica “El Salado” Carretera Tecamachalco-Cañada Morelos Km. 7.5, El Salado, 75460 Tecamachalco, Puebla.

Palabras clave: Buenas prácticas, economía circular, Una Sola Salud.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el mayor problema que enfrentan las explotaciones porcinas es la generación de excretas que contaminan el ambiente y pueden llegar a constituirse en el principal obstáculo para el futuro desarrollo de la industria animal, pese a este problema, las excretas porcinas tienen un gran potencial económico debido a su alto contenido de nutrientes, aprovechando las proteínas que estas nos brindan por medio de fermentación en estado sólidos por medio de microorganismos (Castrillón et al., 2004). En México, la producción porcina ha jugado un papel fundamental dentro del abasto de carne, en la década de los 90's la oferta de carne de cerdo creció a una tasa anual de 3.5% para ubicarse al final de la década en 994,186 ton, lo que la colocó como la tercera carne de importancia en México. Así mismo, se caracterizó por ser uno de los principales consumidores de granos forrajeros (4.1 millones de toneladas) y de pastas de oleaginosas (777 mil ton), cantidades que representan el 25.8 y el 21.9% respectivamente

de la demanda pecuaria del año 2000. Este incremento en la producción ha ido emparejado a un incremento en el tamaño de las granjas porcinas, el INEGI en 1991 indica a través de los resultados del Censo Agrícola - Ganadero que en el país existían 1'963,000 unidades de producción porcina. Las explotaciones con menos de 20 cabezas (99% del total) contaban solamente con el 52% de la población porcina del país, y el 1% de las explotaciones contabilizaban el 48% del inventario. Esta situación trajo como consecuencia un aumento en la capacidad contaminante de las granjas porcinas, sobre todo en regiones del país que presentan una alta densidad de población porcina, ya que la porcicultura en México independientemente de ser practicada en todo el país, muestra una gran concentración en pocas entidades, donde la operación de grandes grupos de productores y empresas permite ofertar grandes volúmenes de carne para el abasto interno e inclusive para la exportación, de tal forma que el 68.7% de la producción nacional es generada en seis entidades del país: Jalisco, Sonora, Guanajuato, Puebla, Yucatán y Michoacán (Mariscal, 2007).

En el caso del estado de Puebla, existen varias empresas con tratamiento alternativo, (pozos de oxidación, tratamiento de lodos, sin embargo, desconocemos si alguna realiza tratamiento integral del total de sus residuos.

En este trabajo de investigación se abordarán los aspectos de mitigación para evitar la contaminación ambiental por las excretas y efluentes de origen porcino derivados del manejo intensivo de la posta, desde una óptica integral y que contribuya al mejoramiento del suelo, nutrición alternativa y como energías limpias procurando productos ecológicamente sustentable y económicamente redituables, para la Posta Zootécnica de la BUAP, en El Salado, Tecamachalco.

MARCO TEÓRICO

Biotechnologías limpias

La tecnología más comúnmente aplicada por este sector pecuario para tratar sus aguas residuales son lagunas de oxidación. La gran mayoría de las instalaciones no cuenta con sistemas de aireación o diseños que permitan acelerar la digestión de la materia orgánica presente. Por lo tanto, estos sitios representan un serio foco de infección, emiten cantidades importantes de amoníaco y ácido sulfhídrico a la atmósfera; además, importantes escurrimientos terminan infiltrando altas concentraciones de amonio a los acuíferos de la zona colindante. Los compuestos nitrogenados, en determinadas concentraciones, pueden afectar la salud, los recursos naturales y la economía.

Uso de las excretas porcinas.

La producción porcina a nivel nacional comprende al menos tres variantes de sistemas productivos: tecnificado, semitecnificado y traspatio, donde esta última es la más común por ser una de las más vistas en territorio nacional (Mariscal, 2007). Un aspecto de beneficio económico de estas excretas, a diferencia de otros sustratos es que son un buen abono agrícola (Osorio et al., 2007), lo que implica que el estiércol líquido de cerdo puede ser utilizado como un recurso con un potencial y agronómico, y ambiental y económicamente sostenible (Douglas et al., 2004). Según los problemas ambientales relacionados a la excreta porcina en los últimos años, han pasado por alto por lo cual los sistemas individuales que se basan sobre el reciclaje de estiércoles animales en este caso de porcinos es el de regresarlos a la tierra como una importante fuente de nutrientes para el suelo (Hatfield, 2007), es por esta razón que para el uso adecuado de las excretas porcinas debe contar como mínimo con una laguna de oxigenación. Las aguas pueden tratarse con implementación de fosas de tratamiento aerobio o anaerobio, pero esto no siempre es así, utilizándose en algunas explotaciones la derrama de las excretas en arroyos, barrancas o suelos (Mariscal, 2007). Los estiércoles se han estado usando en la agricultura desde que el productor combinó su actividad agrícola con la ganadera en el nivel de traspatio o solar, aumentando así la fertilidad de los suelos y modificar sus características en beneficio del desarrollo de las plantas, quedando demostrada con rendimientos más altos y de mejor calidad, así

mismo aportando los elementos esenciales que requieren los cultivos y mejorando la estructura del suelo porosidad y capacidad de retención de agua (Trinidad, 2015).

El uso de estos abonos orgánicos por sus excelentes características de composición son formadores del humus y enriquecen al suelo con este componente, modificando algunas de las propiedades y características del suelo como su reacción (pH), cargas variables capacidad de intercambio iónico, quelatación de elementos disponibilidad de fosforo magnesio y potasio, y desde luego la población microbiana haciéndolo más propio para el buen desarrollo (Trinidad, 2014) **Tabla 1.**

Tabla 1. Cantidad de excretas producida de acuerdo a función zootécnica estándar. Producción de excretas según el estado fisiológico de los cerdos. Tomado de Peralta, 2005.

Etapa animal	Peso (kg)	Producción excretas (lt/día)	Sólidos totales (kg/día)	DBO (kg/día)	Sólidos volátiles (kg/día)	Nitrógeno o (kg/día)	Fosforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Cría	16	1	0.09	0.08	0.08	0.01	0.01	0.01
Recría	29	1.8	0.18	0.14	0.14	0.01	0.01	0.01
Engorda	68	4.3	0.41	0.33	0.33	0.03	0.02	0.02
Gestación	125	4.2	0.37	0.30	0.30	0.03	0.02	0.02
Maternidad con cría	170	15.1	1.36	1.09	1.09	0.10	0.08	0.08
Verraco	159	5.3	0.45	0.38	0.39	0.04	0.03	0.03

Tabla 2. Producción diaria de excretas según la etapa de desarrollos del cerdo. Tomado de Mariscal, 2007.

Etapa	Estiércol (kg/día)	Est. - Orina (kg/día)	Volumen (l/día)	Volumen (m3/animal/mes)
25-100 kg	2.3	4.9	7.0	0.25
Hembra	3.6	11.0	16.0	0.48
H. lactación	6.4	18.0	27.0	0.81
Semental	3.0	6.0	9.0	0.28
Lechón	0.35	0.95	1.4	0.05
Promedio	2.35	5.8	8.6	0.27

Contaminación ambiental de las excretas porcinas

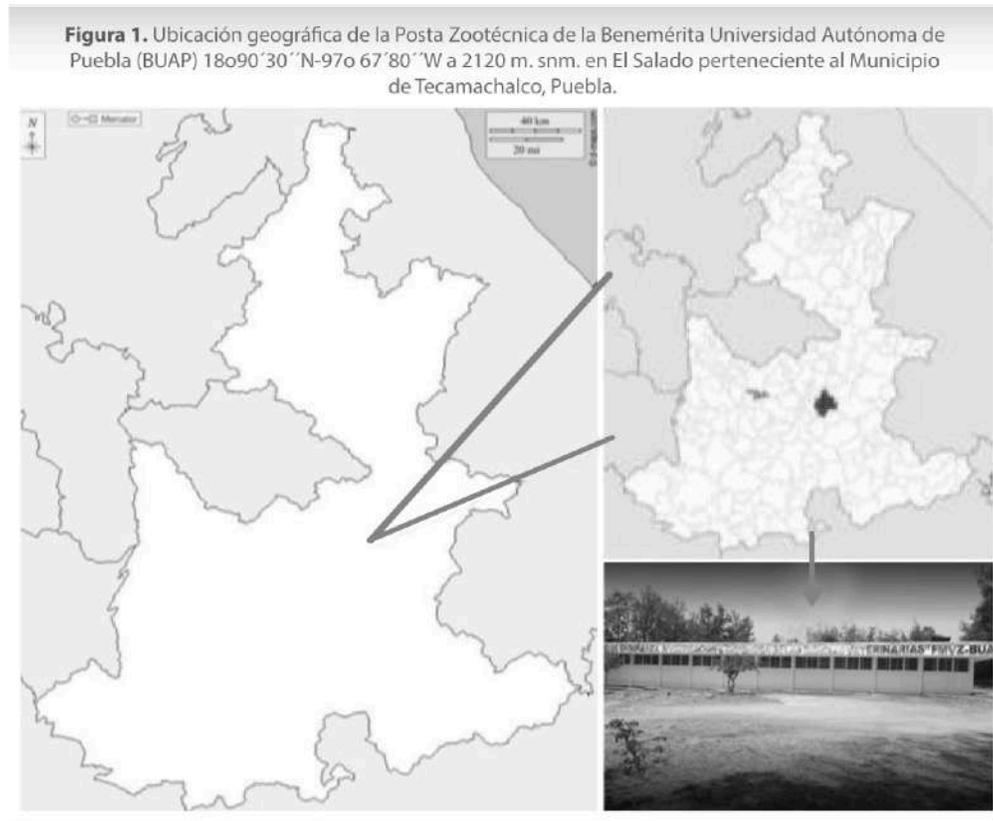
Uno de los principales problemas asociados con la producción de carne de cerdo y la expansión de la producción es el desecho del estiércol animal y el olor que se asocian con los animales y las instalaciones de almacenamiento de estiércol. Tradicionalmente aliado, el estiércol de cerdo se ha vuelto a la tierra de alguna manera en las zonas de producción; sin embargo, ha sido objeto de ataques en las zonas rurales, debido a los problemas de olor durante la aplicación (Hatfield, 2007). Aunado a la producción sólida de excretas como contaminantes, el estado de las excretas puede ser identificado como excretas en estado líquido Riesgo Contaminante de la Excreta Porcina. El potencial contaminante de los residuos ganaderos viene determinado por los parámetros: materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados, particularmente cobre. Destaca la materia orgánica porque la contaminación, que potencialmente puede producir es extremadamente elevada, sobre todo si la valoración contaminante se realiza en función de la carga orgánica, (Rodríguez, 2002). El ambiente sufre un desequilibrio cuando existe el aporte de un cuerpo extraño, esto sucede a través de las alteraciones originadas por los distintos componentes de los residuos, afectando suelos por medio de la materia orgánica por medio del llamado humus también repercutiendo sobre las aguas superficiales y subterráneas; y otro efecto de suma importancia es el efecto sobre la atmosfera ya que estos efectos están ligados a los componentes volátiles que emanan en los procesos de transformación de los componentes

orgánicos, tales gases reside en la acción de determinados microorganismos anaerobios sobre: proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, dando lugar a compuestos volátiles y a gases con un grado determinado de nocividad: irritante (NH_3 y H_2S) y asfixiantes (CH_4 y CO_2) (Rodríguez, 2002) **Tabla 2.**

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de Estudio. - La Posta Zootécnica de la FMVZ de la Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), se encuentra situada en Tecamachalco, en la localidad de "El Salado", Municipio de Tecamachalco, Puebla. El clima predominante es semicálido subhúmedo, presenta una temperatura media anual de 18°C , con máximas de 21°C y mínimas de 15°C . En las coordenadas N $18^\circ 90' 30''$ - $97^\circ 67' 80''$ W (INEGI, 2020). Tiene una precipitación de 350 mm, a 2120 m. snm.

Figura 1.



PROPUESTAS DE ESTE PROYECTO

Alternativas para disminuir la contaminación por excretas porcinas

Algunas recomendaciones para bajar el potencial contaminante producidas por la excesiva producción de excretas, incluyen: Mejorar el conocimiento que los animales aprovecharan de manera más eficiente los nutrientes esenciales lo cual bajarían las emisiones de metano que a su vez es excretado por lo tanto se reducirá el NH_3 emitido en los alojamientos, la gestión de los estiércoles y su aplicación al campo, es por ello que se puede llevar a cabo la reducción de exceso de proteína en la dieta permitiéndonos reducir el nitrógeno excretado en la orina y disminuir una emisión de NH_3 , además también aplicar y modificar los niveles de fibras o grasas (Calvet, 2015). Como alternativa subalterna de la disminución de contaminantes porcinos se mencionan los sistemas de producción de cría de cerdos a cama profunda y cerdos a campo. Estos sistemas son una opción factible para reducir los problemas

ambientales causados por los residuos sólidos y líquidos, producto de los lavados de los corrales y la alta producción de excretas de cerdos por metro cuadrado en los sistemas de confinamiento; la producción de cerdos a campo es escasamente contaminante al ambiente debido a que las deyecciones se distribuyen en el suelo, aprovechando así esto como fertilizante (Rodríguez et al., 2010).

Toxicidad de la excreta animal

La toxicidad del estiércol de cerdo es tres veces menor que el estiércol de aves, existen una serie de bacterias que influyen como riesgo bacterial en el estiércol de cerdo; Salmonella, Mycobacterium, Brucella, Escherichia coli, Leptospira, Yersinia y Campilobacter. No siempre están presentes en el estiércol siendo más prevalentes en cerdos infectados (Mariscal, 2007).

Composta a partir de excretas porcinas.

Por medio de la composta podemos incrementar el valor económico y nutritivo de los desechos orgánicos que se requiere convertir en productos para generar alguna aplicación, proceso donde intervienen microorganismos vivos tales como lombrices, insectos, entre otros; para poder obtener un producto inocuo, químicamente estable, para uso de mejorador de suelos incrementando la fertilidad y la productividad del mismo, basado en esto poder llevar un control de los procesos de biodegradación de la materia orgánica (Vicab et al., 2003). En una unidad de compostaje se dan procesos de fermentación en determinadas etapas y bajo ciertas condiciones, lo mejor es que permaneciera en un medio aerobio, tratando de minimizar los procesos anaeróbicos ya que los productos finales de este metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica conduciendo la pérdida nutricional. Lo importante no es biodegradar sino poder conducir la biodegradación por rutas metabólicas para la obtención de un producto final lo más apropiado para su uso como abono en el menor tiempo posible (Vicab et al., 2003).

El compostaje se describe como una técnica utilizada por la agricultura para aprovechar y estabilizar los nutrientes del estiércol y otros residuos orgánicos para uso común de biofertilizante, este proceso de compostaje se utiliza en la actualidad un proceso aerobio que combina fases mesófitas (15-45 °C) y fases termófilas (45-70 °C) para de esta forma conseguir la reducción de los residuos orgánicos y su transformación en un producto estable y valorizante (Gómez et al., 2004). Para obtener un producto utilizable a partir de las excretas animales por medio del compostaje, este se lleva a cabo inicialmente por las cepas de microorganismos que descomponen los residuos orgánicos, en este caso las excretas, generando diferenciales de temperatura, el pH del medio disminuye por la producción de ácidos orgánicos, una vez que alcanza la temperatura cercana a 40 °C. Las bacterias termofílicas inician procesos de degradación haciendo que se alcancen temperaturas de hasta 65 °C, condiciones en las cuales se inactiva el metabolismo de ciertos hongos, encontrando así en esta etapa hongos actinomicetos y bacterias formadoras de esporas los cuales son los degradadores de los azúcares, proteínas, almidón y grasas; donde el pH se vuelve alcalino por efecto de la liberación de ion amonio. (Carvajal et al., 2010) **Figura 2.**

Figura 2. Ejemplos de efluentes derivados de la Posta Zootécnica de la BUAP y su actual tratamiento, El Salado, Tecamachalco, Puebla, México.



DISCUSIÓN

Actualmente vivimos una crisis civilizatoria que se manifiesta a diferentes escalas y niveles, un problema grave derivada de esta crisis es la inseguridad alimentaria y las Buenas Prácticas Agropecuarias, buscando el Buen Vivir. En este contexto se busca alternativas ecológicamente viables y sustentable de la actividad porcícola de la Posta Zootécnica de la BUAP, en Tecamachalco, Puebla.

Toda explotación porcina desprende residuos sólidos y líquidos que son arrastrados por el agua al momento de lavado. Este agregado contaminante cambia el estado de potabilidad del agua transformándolo en lo que se conoce como agua residual, cuya composición está comprendida por ,55 % de excretas y 45 % de orina (Osorio et al., 2007). Los aspectos que impactan la contaminación ambiental por la producción porcina son; la contaminación del aire, suelo y agua por producción de gases, heces y orina (Méndez et al., 2009). La contaminación implica no solo un deterioro del ambiente sino también una fuga de energía y nutrientes, lo cual significa un desaprovechamiento de los recursos. En este sentido, la contaminación aparece como resultado de un proceso ineficiente o incompleto que no utiliza de manera apropiada los recursos que posee o que genera (Vicari, 2012). Los principales contaminantes de las excretas producidas en una granja pueden tener una clasificación de acuerdo a su composición los cuales se dividen en físicos y químicos; de acuerdo a la materia orgánica y los sólidos en suspensión y de acuerdo al nitrógeno, el fósforo y el potasio excretados y el gran olor que es ocasionado por la gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles (Mariscal, 2007). Los factores ligados a las instalaciones afectan principalmente el contenido de agua de las excretas, así como la emanación de gases, por su parte los factores ligados al animal y al alimento influyen directamente sobre la composición química de las excretas, ya que la excreción corresponde a la proporción de un nutrimento contenido en el alimento que no es retenido por el animal; la cantidad retenida depende a su vez de la composición del alimento y de la capacidad del animal por fijar (depositar) los diferentes nutrimentos, principalmente el nitrógeno y el fósforo. Por lo que la composición química y por lo tanto el poder contaminante de las excretas es muy variable y depende básicamente de la calidad del alimento, del programa de alimentación y de la capacidad productiva de los cerdos de una granja (Mariscal, 2007). El manejo que se dé a las excretas es primordial, porque representan un nivel muy alto de riesgo de contaminación del suelo y mantos freáticos, principalmente con nitratos y fosfatos por el probable escurrimiento y filtración, incrementando el proceso de eutrofización de mantos acuíferos. Otra consecuencia ecológica relacionada con la aportación de nitrógeno a la atmosfera ayudando a la contribución de lluvia acida (Mariscal, 2007). Dentro de la contaminación del aire se estima las emisiones de amoniaco, sulfuro de hidrogeno, metano y dióxido de carbono provocando molestias por olores fuertes y desagradables, además provocando trastornos respiratorios en humanos y animales, también contribuyendo a la destrucción de la capa de ozono (Méndez et al., 2009). Dentro de la problemática de la contaminación por excreta de origen porcina se plantea según países europeos un proceso de regulación e intervención con el fin de reducir el riesgo y prevenir el impacto ambiental derivado de la ganadería porcina, dentro de estos aspectos lleva a cabo un conjunto de aspectos legislativos para un buen desarrollo de la actividad, con ello tener la responsabilidad medio ambiental asociada a la actividad que desarrollará en la explotación (Babot, 2007). Un sustrato contaminado frecuentemente es el suelo, que

al estar vertido por un volumen de estiércol excesivo causa la acumulación excesiva de nutrientes en el suelo, que están transitando por un proceso de desdoblamiento ácido y de esta forma se produce una alteración del pH, infiltración de nitratos al subsuelo y contaminación microbiológica (Méndez et al., 2009) La contaminación del agua por medio de las excretas de origen porcino es de tal importancia debido a que el agua superficial por la excreta se manifiesta por la presencia de amonio y sulfatos. El exceso de nutrientes favorece el crecimiento de algas desencadenando con ello el agotamiento del oxígeno disuelto, favoreciendo la proliferación de larvas e insectos nocivos y en casos severos la eutroficación de los cuerpos de agua, de igual forma también influye en la contaminación de mantos acuíferos (Méndez et al., 2009). Un estudio realizado en La Piedad, Michoacán, destaca los problemas involucrados por la sobrepoblación y el sistema aplicado para los residuos porcinos. Destacando que en la mayor parte de las granjas porcinas no existe un uso eficiente del agua y que los sistemas de tratamiento no están correctamente dimensionados por lo cual no funcionan de manera adecuada, es decir, los niveles de remoción de contaminantes son altamente bajos es por ello que sobrepasan los límites que menciona la legislación (Pérez, 2001). En este trabajo de investigación (primera etapa) se propone un manejo integral que contempla:

- Producción y manejo de metano (CH₄) y derivados
- Manejo de excretar como Compostaje, Biofertilizante o Bioabono y NDN
- Adición de Enzimas
- Tratamiento de los efluentes, y excretas porcinas hasta alcanzar las normas oficiales y sanitarias.
- Tratamiento y caracterización de los lodos.
- Digestión aeróbica y anaeróbica.

CONCLUSIÓN

Uno de los principales retos ambientales que enfrenta la industria pecuaria, en este caso la porcina es la generación de enormes cantidades de efluentes y estiércol, que, a pesar de sus beneficios por su contenido de nutrientes, si no son tratados adecuadamente llegan a contaminar suelo, agua y aire. En este trabajo de investigación se propone como alternativa viable y factible el uso de tecnologías multidisciplinarias, que a su vez son rentables y óptimas para alcanzar estándares internacionales de salud y buenas practicas.

BIBLIOGRAFÍA

Arias MSA, Betancur TFM, Gómez RG, Salazar GJP, Hernández AML. 2010. Fitorremedación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador Técnico Colombia, 74: 12-22.

Babot D. 2007. Gestión medioambiental en producción porcina. Rev. Compt. de Prod. Animal. 14:3.

Calvet SS. 2015. Contaminación atmosférica mitigación y adaptación a través de la nutrición animal. Nutrinews contaminación atmosférica y nutrición animal.<http://nutricionanimal.info/download/0315-medioambiente.pdf>
Castrillon QO, Jiménez PRA, Bedoya MO. 2004. Porquinaza en la alimentación animal. Revista Lasallista de Investigación, 3(1): 72-76.

Cervantes FJ, Zaldívar CJ, Yescas JF. 2007. Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. Rev. Lat. De Rec. Nat. 3(1):3-12.

- Carvajal MJS, Mera BAC. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. Rev. Prod. Limp. 5:2-4.
- Douglas LK, Cambardella CA, Kanwar RS. 2004. Desafíos de la gestión líquido estiércol de cerdo. Sociedad americana de ingenieros agrícolas. Vol.20:693-699.
- FAO.2013. Análisis del beneficio-costo de los sistemas de tratamiento de excretas, (Consultado 05-06-2013). www.fao.org/wairdocs/lead/x6372s/x6372s06.htm
- Galindo BAJ, Domínguez AG, Salazar GG, Arteaga GRI, Martínez PMD, Sánchez GFJ. 2013. Ensilado de cerdaza, una oportunidad para el manejo de la bioseguridad y el microbismo en granjas porcícolas. INIFAB 4:44-46
- Gómez DTY, Gonzales GMI, Chiroles RS. 2004. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. Revista electrónica de la agencia de medio ambiente, 7:683-904.
- Hatfield LJ, Brumn CM, Melvin WS. 2007. Gestión del estiércol de cerdo. 14.INIFAB. 2015. Excretas Ensiladas de Cerdo, Para Alimentación de Rumiantes.INIFAB
<http://utep.inifap.gob.mx/tecnologias/2.%20Bovinos%20Carne/2.%20Nutrici%C3%B3n/EXCRETAS%20ENSILADAS%20DE%20CERDO.pdf>(CONSUL TADO 06/09/2015).
- Iñiguez CG, Varela HJJ. 1999. Composteo y ensilaje de excretas porcinas. Biotecnología, 4:2-5.
- Méndez NR, Castillo BE, Vázquez BE, Briceño PO, Coronado PV, Pat CR, Garrido VP. 2009. Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería, 13: 13-21.
- Mariscal LG. 2007. Capítulo 7, Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas. Sitio Argentino de Produccion Animal. <http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6372s/x6372s08.htm>
- Osorio SJA, Ciro VHJ, Gonzalez SH. 2007. Evaluacion de un sistema de biogestion en serie para clima frio. Rev. Nal. Medellin, 60: 4145-4162.
- Peralta AJM. 2005. Manejo de purines porcinos y tecnologías aplicables. Instituto de investigaciones agropecuarias. http://biblioteca.inia.cl/medios/catalogo/libros/INIA_L0018.pdf
- Pérez R. 2001. Porcicultura y contaminación del agua en la piedad, Michoacán, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 17:5-13.
- Rondón RYM, Aranque MHE, Farfán LCJ, Mora F. 2014. Efectos de dos tipos de material de cama sobre la carga parasitaria de cerdos en crecimiento y engorde alojados en cama profunda. Rev. Fac. Cs. Vets, 55: 42-52.
- Rodríguez MA, Pulido MMA, Rey BJC, Lobo LD, Aranque H, Rivero C. 2010. Efecto del pisoteo en sistemas de producción de cerdos a campo sobre propiedades del suelo. Agronomía tropical, 60: 119-130.
- Rodríguez C. 2002. Residuos ganaderos. Sitio argentino de producción animal. http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf
- Svoboda FI. 2003. Digestión anaeróbica, almacenamiento, oligoLysis, cal, calor y tratamiento aerobio de estiercoles

animales. Servicios FEC, 1:110- 115

SAGARPA-SENASICA. (2004). Manual de Buenas Practicas de Producción en Granjas Porcícolas. 35-36.

Trinidad SA. 2015. Utilización de estiércoles. Secretaria de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural; Subsecretaria del desarrollo rural, Dirección General de Desarrollo Rural; México: (Consultado 29-10-2015) <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Utilizacion%20de%20estiercoles.pdf>

Trinidad SA. 2014. Abonos Orgánicos. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación; Subsecretaria de Desarrollo Rural; Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México (Consultado 10 09 2014)<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>

Vicari MP. 2012. Efluentes en producción porcina en Argentina: generación, impacto ambiental y posibles tratamientos. Trabajo final de ingeniería en producción agropecuaria. 38-40.

Vicab BLA, Sandoval CCA. 2003. Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta. Tropical and subtropical agroecosystems, 2:45-63.

Semen porcino conservado con antioxidantes naturales (*Cymbopogon citratus* e *Hipericum perforatum*) y Nanopartículas de plata como agente antimicrobiano

Resumen

Uno de los grandes problemas a nivel mundial es el abastecimiento de carne de cerdo. Debido a esto, se han implementado nuevas técnicas de reproducción animal como, el uso extractos naturales de *Cymbopogon citratus* (Cc) e *Hypericum perforatum* (Hp) disminuyendo la apoptosis celular provocada por los radicales libres en los espermatozoides y, nanopartículas de plata (AgNPs) como agente antimicrobiano debido a, la resistencia bacteriana generada por el uso indiscriminado de los antibióticos comúnmente utilizados a lo largo de los años, observando problemas reproductivos una vez inseminada la cerda, así como la propagación de enfermedades por semen contaminado. Por tal motivo, se propone utilizar dichas NPs para evaluar la concentración máxima sin provocar cambios morfológicos y estructurales en la membrana del espermatozoide.

A pesar de las investigaciones realizadas sobre extractos naturales y AgNPs por separado, se consideró necesario realizar el presente estudio; el cual brindará información sobre qué tan favorecedor es la utilización de extractos naturales y AgNPs en el área de producción porcina, puesto que, se tiene como objetivo fundamental la protección de los espermatozoides de agentes externos, como bacterias y macrófagos dentro del tracto reproductor de la hembra y, teniendo como resultado un menor porcentaje de daños estructurales en los espermatozoides debido a su manejo, manteniendo una mayor viabilidad y una mejor motilidad. De esta manera se favorecerá la relación beneficio-costo en los protocolos de reproducción asistida en cerdos.

Dichas nanopartículas fueron sintetizadas mediante química verde y el método Turkevich. Los extractos naturales se caracterizaron por DPPH* y HPLC para determinar la capacidad antioxidante y azúcares totales. Las AgNPs se caracterizaron mediante espectroscopía ultravioleta-visible, dispersión dinámica de luz, microscopía electrónica de barrido y transmisión. La actividad antimicrobiana se determinó mediante el método de difusión en pozos de agar en Luria Bertani contra *Staphylococcus aureus* y *Pseudomonas spp.*, se cultivaron cepas de *E. coli* y *Salmonella typhimurium* en caldo de soja tríplica y *Clostridium perfringens* en caldo de tioglicolato. La viabilidad seminal se analizó mediante dos métodos: sistema de calidad seminal y colorante eosina-nigrosina. Los resultados para el uso de extractos con semen se obtuvieron realizando una comparación con un diluyente a corto plazo, obteniendo como resultado para Cc una viabilidad de 66% vs 63% y, para Hp 82% vs 63%. Para las soluciones mezcladas con AgNPs con un tamaño de 20 a 100 nm se obtuvo una viabilidad arriba del 80% para los tres casos. Todas las muestras de AgNPs mostraron inhibición bacteriana. Se puede concluir que, al usar estos extractos naturales y AgNPs fue posible mantener la viabilidad de los espermatozoides durante 72 horas en almacenamiento, con un porcentaje de espermias normales arriba del 70%.

2. Materiales y Métodos

2.1. Animales experimentales y recolección de las dosis seminales

Se utilizó un semental Yorkshire de 3 años con un peso de 349 kg, el cual se alojó en un corral de 51 m² con piso de cemento, provisto de sombra, bebedero y comedero, donde se le ofreció agua potable a libre acceso y alimento comercial dos veces por día (PIC, 2015). Por otro lado, para observar la morfología del espermatozoide se utilizó un Microscopio de Fuerza Atómica marca Nanosurf EasyScan 2 AFM, así como, se realizaron pruebas para la evaluación macro y microscópica de dichos espermatozoides.

2.2 Síntesis de las muestras

2.2.1 Síntesis de los extractos naturales

Para el desarrollo de la infusión del extracto de *Cymbopogon Citratus* se realizó un comparativo entre dos marcas comerciales diferentes (Lagg's® y McCormick®). La planta de *Hypericum perforatum* fue adquirida de un vivero local, la cual fue cultivada sin el uso de fertilizantes ni plaguicidas. Posteriormente, se seleccionó únicamente la flor dejándola secar durante 15 días consecutivos a temperatura ambiente.

Dichos extractos, se realizaron colocando 1.5 g de *Cymbopogon citratus* y, 1 g de *Hypericum perforatum* respectivamente en 60 mL de agua bidestilada a una temperatura de 50 °C durante 30 minutos evitando la pérdida de su poder antioxidante. Posteriormente, se dejaron reposar a temperatura ambiente durante una hora aproximadamente.

Las pruebas antioxidantes de los extractos naturales se realizaron mediante DPPH* (2,2-difenil-1-picrylhydrazyl), así como, la evaluación de azúcares totales mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC).

2.2.2 Interacción de extractos naturales con semen porcino

Se prepararon veintisiete (n=3) soluciones de 5 mL de semen fresco sin diluir en viales de vidrio a temperatura ambiente, a las cuales se le agregaron tres diferentes concentraciones (0.250, 0.125 y 0.0625 µL) de extractos naturales y BTS. T1= BTS 0.250 µL, T2= BTS 0.125 µL, T3= BTS 0.0625 µL, T4= Cc 0.250 µL, T5= Cc 0.125 µL, T6= Cc 0.0625 µL, T7= Hp 0.250 µL, T8= Hp 0.125 µL y T9= Hp 0.0625 µL. Finalmente, las muestras fueron almacenadas a 17 °C durante 3 días consecutivos y, analizadas cada 24 horas, termalizando las muestras en baño María hasta llegar a una temperatura de 37 °C gradualmente, mediante un Analizador de Calidad Seminal (SQS).

2.2.3 Síntesis de Nanopartículas de plata (AgNPs)

Para las soluciones de plata se emplearon 25 mL de agua bidestilada a una concentración 1 mM de nitrato de plata. Se utilizaron vasos de precipitado recubiertos con aluminio para evitar que la radiación electromagnética interfiera con el proceso de reducción (Lomelí- Rosales *et al.*, 2019). Se mantuvo en agitación constante a 50 °C

mientras que, al inicio se agregaron 300 μL de *Cymbopogon citratus* y, 100 μL de *Hypericum perforatum*. Pasados 5 minutos se adicionaron 100 μL de ambos extractos respectivamente hasta que, las muestras cambiaron su color de transparente a color ámbar. Finalmente, se dejaron en reposo durante 30 minutos a temperatura ambiente y sin agitación.

Por otro lado, se realizó la síntesis de AgNPs mediante síntesis química, como grupo testigo. Se realizó una solución mediante citrato de sodio como agente reductor con una concentración 2 mM en 25 mL de agua doblemente desionizada y, nitrato de plata a una concentración 1 mM. Se sometió a 80 °C durante 30 minutos, obteniendo la coloración característica de las soluciones de AgNPs, color ámbar.

Para la evaluación del tamaño y morfología de dichas NPs, se llevó a cabo mediante Espectrometría ultravioleta-visible (Uv-Vis) (Thermo Scientific modelo Genesys 10S), dicha técnica es utilizada como prueba rápida para confirmar la reducción de las NPs, se utilizó un equipo Zetasizer Nano S, para la obtención de distribución del tamaño de las AgNPs mediante dispersión dinámica de luz (DLS), las características morfológicas de las muestras se realizaron por medio de un Microscopio electrónico de barrido (SEM); marca Tescan® modelo MIRA 3 LMU de alta resolución y, el Microscopio Electrónico de transmisión (TEM) marca JEOL JSM-1010.

2.2.4 Interacción de AgNPs con semen porcino

Para dicho análisis se prepararon veintisiete (n=3) soluciones de 5 mL de semen diluido en viales de vidrio a temperatura ambiente, a las cuales se le agregaron AgNPs sintetizadas con extracto de *Cymbopogon citratus* (Cc), *Hypericum perforatum* (Hp) y, Citrato de sodio a tres diferentes concentraciones (0.1, 0.5 y 1 μL). T1= Citrato 0.1 μL , T2= Citrato 0.5 μL , T3= Citrato 1 μL , T4= Hp AgNPs 0.1 μL , T5= Hp AgNPs 0.5 μL , T6= Hp AgNPs 1 μL , T7= Cc AgNPs 0.1 μL , T8= Cc AgNPs 0.5 μL y T9= Cc AgNPs 1 μL . Finalmente, las muestras fueron almacenadas a 17 °C y, durante 3 días consecutivos y, analizadas cada 24 horas, termalizando las muestras en baño María hasta llegar a una temperatura de 37 °C gradualmente, mediante un Analizador de Calidad Seminal (SQS).

2.3 Pruebas antimicrobianas de AgNPs y extractos naturales

Se preparó 1 L de medio de cultivo a utilizar. Se colocó aproximadamente 50 mL de dicho agar junto con 300 μL del inóculo con las correspondientes cepas, en este caso, *S. aureus* y *P. spp.* Por último, se vertieron 25 mL en cajas Petri de cada solución con las distintas cepas, se hicieron cinco pozos y uno de control, en los cuales se mezclaron 60 μL de los diferentes sistemas previamente sintetizados (*Cymbopogon citratus*, *Hypericum perforatum*, *Cymbopogon citratus* con AgNPs, *Hypericum perforatum* con AgNPs y AgNPs con citrato de sodio), finalmente, se enfriaron para gelificar, se taparon y se mantuvieron en refrigeración (4°C) durante 12 horas para su posterior uso y evaluación bactericida. Por otro lado, se prepararon cultivos líquidos de las cepas de referencia puras *E. coli* (ATCC 25922), *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028) en caldo soya tripticaseína y *Clostridium perfringens* (ATCC 13124) en caldo tioglicolato. A partir de este cultivo se preparó una suspensión bacteriana de cada bacteria ajustando la concentración a 0.5 McF (1 $\times 10^8$ UFC/mL) en diluyente de peptona. Esta suspensión bacteriana se expuso a una concentración de 100 mg/mL de las diferentes infusiones (*Cymbopogon citratus* e *Hypericum perforatum*) y AgNPs preparadas a partir de las infusiones *Cymbopogon citratus* AgNPs, *Hypericum perforatum* AgNPs y Citrato de sodio AgNPs, así como con el diluyente comercial BTS.

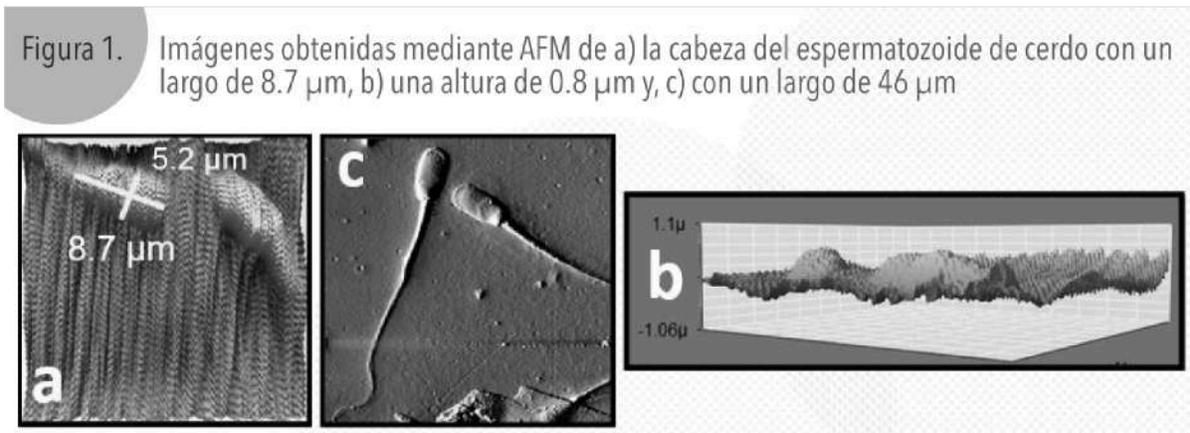
3. Resultados y discusión

3.1 Evaluación de las dosis seminales mediante un Analizador de Calidad Seminal (SQS)

Todas las muestras seminales recién recolectadas fueron analizadas mediante el equipo SQS obteniendo un promedio del 86% de todas las muestras empleadas en esta investigación, de las cuales se seleccionaron aquellas que su porcentaje de viabilidad fuera arriba del 70%, puesto que, según lo reportado por Del Valle Rodríguez, (2017) dicho porcentaje es el mínimo aceptable para considerar una dosis seminal adecuada.

3.2 Análisis de la morfología del espermatozoide mediante AFM

Dicha técnica innovadora es capaz de mostrar una morfología precisa, así como una estructura en 3-D sin dañar al espermatozoide, lo cual permite obtener información de en un nivel sub-molecular. En la **Figura 1a** se observa la imagen de un espermatozoide porcino obtenido mediante dicha técnica, el cual tiene un largo de la cabeza de $8.7 \mu\text{m}$ coincidiendo con lo reportado por Rubessa *et al.*, (2020) ($9.17 \pm 0.44 \mu\text{m}$), sin embargo, se encontraron algunas diferencias en cuanto al ancho debido a que, dichos autores reportaron un promedio de $4.55 \pm 0.33 \mu\text{m}$, lo cual difiere con lo observado en la presente investigación siendo de $5.2 \mu\text{m}$, mientras que, su altura fue de $0.8 \mu\text{m}$, no obstante, no fue posible corroborar esta última medición, ya que no existen reportes en la literatura (**Figura 1b**). Finalmente, en la **Figura 1c** se muestra la imagen completa de un espermatozoide mediante la cual se pudo determinar que su largo es de $46 \mu\text{m}$.



3.3. Pruebas antioxidantes de los extractos naturales mediante DPPH* (2,2- difenil-1-picrylhydrazyl)

Para el extracto de *Hypericum perforatum*, el cual tardó aproximadamente 20 minutos en estabilizarse llegó a un 86% de inhibición, lo que indica una mayor estabilidad en un menor tiempo, lo cual coincide con lo reportado por Silva *et al.*, en 2004. En comparación con *Cymbopogon citratus*, el cual tardó 40 minutos para estabilizarse llegando a un 82% de inhibición. Es por esto que, al mostrar un porcentaje de inhibición arriba del 80% se convierten en una nueva alternativa para su uso como conservadores seminales, debido a su propiedad para reducir RL (radicales libres), los cuales los hace altamente reactivos atacando moléculas biológicas, tal es el caso del espermatozoide porcino, causando apoptosis celular a consecuencia del proceso de oxidación alterando la membrana plasmática (Güzel *et al.*, 2019).

3.4. Determinación de azúcares totales de los extractos naturales mediante HPLC (Cromatografía líquida de alta eficacia)

Para el extracto de *Hypericum perforatum*, la concentración tanto de glucosa como de fructosa en la flor deshidratada de dicha planta se encontraron por debajo del límite de cuantificación, lo cual coincide con lo reportado por Martínez-Solís, (2015), en donde se reporta que el máximo contenido de azúcares de esta planta se localiza en los tallos con un 0.0004%. Por otro lado, para *Cymbopogon citratus* el contenido de fructosa no fue relevante debido a sus bajas concentraciones, sin embargo, para glucosa se obtuvieron 0.558 g/L, la cual es ligeramente menor de la cantidad reportada en la ficha técnica de la hierba comercial. Dichos extractos, fueron diluidos y suplementados en concentraciones específicas a las fracciones seminales establecidas midiendo su viabilidad durante 72 horas consecutivas.

3.5 Análisis de viabilidad de semen porcino en presencia de extractos naturales

En el **cuadro 1** se muestran los diferentes tratamientos con sus tres concentraciones cada uno, medidos mediante SQS, en donde para el tiempo 0 h T6 (90±2.65) muestra diferencia significativa (P<0.05) en comparación con todos los demás tratamientos, debido a que, es el porcentaje más alto de viabilidad espermática. Por otro lado, a las 48 h el porcentaje con mayor viabilidad fue para T5 (85±1.73) mostrando diferencia significativa (P<0.05) en comparación con todos los demás tratamientos. Para los tiempos de 24 y 72 h no se observaron diferencia significativa (P > 0.05) en todos los tratamientos.

Cuadro 1. Porcentaje de viabilidad espermática con conservadores seminales y sus concentraciones específicas.

Tipo de conservador seminal	Tiempo de viabilidad (hrs)+			
(µl)	0 (%) DE±	24 (%) DE ±	48 (%) DE±	72(%) DE±
T1	87.6 ^{ab} ±4.93	80 ^a ±3.61	75.6 ^{abcd} ±3.06	68 ^a ± 10.39
T2	88.6 ^{ab} ±2.31	87 ^a ±4.36	83 ^{ab} ±1.52	63.3 ^a ±10.41
T3	82.6 ^{abc} ± 3.46	76 ^a ±4.51	74.3 ^{abcd} ±7.37	63.3 ^a ±15.95
T4	87.6 ^a ±1.15	82.3 ^a ±2.08	76.3 ^{bc} ±2.52	77 ^a ±2.0
T5	87 ^a ±1.0	86.6 ^a ±1.15	85 ^a ±1.73	82.3 ^a ±4.16
T6	90 ^a ± 2.65	86.3 ^a ±2.52	83.6 ^{ab} ±3.79	74.3 ^a ± 17.8
T7	81 ^{bc} ±7.0	76.3 ^a ±2.52	64.6 ^a ±4.51	55 ^a ± 5.0
T8	78.3 ^{bc} ± 5.69	79.3 ^a ±11.24	73 ^{abc} ±2.65	64 ^a ±5.29
T9	75 ^c ±3.21	75.6 ^a ±6.03	70.6 ^{cd} ±5.51	66 ^a ±13.08
valor P	0.002	0.104	0.000	0.137

†: Valores porcentuales (%): Media ± desviación estándar. BTS: Beltsville Thawing Solution a,b,c,d: Valores con distinta literal son diferentes entre columnas (P < 0.05). T1= BTS 0.250 µL, T2= BTS 0.125 µL, T3= BTS 0.0625 µL, T4= Hp 0.250 µL, T5= Hp 0.125 µL, T6=Hp 0.0625 µL, T7= Cc 0.250 µL, T8= Cc 0.125 µL, T9= Cc 0.0625 µL.

Los resultados mostraron que los extractos naturales pueden emplearse como preservadores de semen de cerdo, debido a que, logran mantener una viabilidad espermática apta en la misma proporción que los diluyentes comerciales, siendo una alternativa de menor costo y de fácil acceso.

3.6 Caracterización mediante Espectroscopía Ultravioleta Visible (UV- vis) y Dispersión Dinámica de Luz (DLS).

La síntesis de AgNPs coloidales mediante *Hypericum perforatum*, *Cymbopogon citratus* y el método de Turkevich adquirieron una coloración ámbar, característica de las soluciones coloidales de AgNPs.

Para las AgNPs con *Hypericum perforatum* se observó un pico de máxima absorbancia de 438 nm en el primer día en comparación con lo reportado con Ajayi *et al.*, (2017), los cuales observaron un pico de máxima absorbancia en 455 nm, dicha diferencia puede ser debida a la metodología empleada en las síntesis. Por otro lado, el tercer día disminuyó a 433 nm, lo que indica un corrimiento al azul. Se muestra una intensidad máxima de absorbancia en 430 nm a las 24 horas, lo cual coincide con lo reportado por Gitea *et al.*, (2020), mientras que, mientras que, pasadas las 72 horas se observó un pico a los 433 nm. Este desplazamiento hacia el rojo está relacionado con un ligero crecimiento en el tamaño de las NPs (Smith *et al.*, 2008) De acuerdo con la simetría que tienen ambas curvas, se puede determinar que para las NPs sintetizadas con *Cymbopogon citratus*, existe una distribución de tamaño de partícula más estrecha en comparación con las partículas reducidas con *Hypericum perforatum*. Finalmente, se pudo observar el análisis de la muestra de AgNPs reducidas con citrato de sodio, donde, el pico de máxima absorbancia para el primer día fue de 424 nm y, pasadas las 48 horas cambió a 422 nm. En referencias encontradas en la literatura se reporta que, el pico de máxima absorción para dichas NPs mediante síntesis química se encuentra alrededor de 424 nm (Mazzonello *et al.*, 2017).

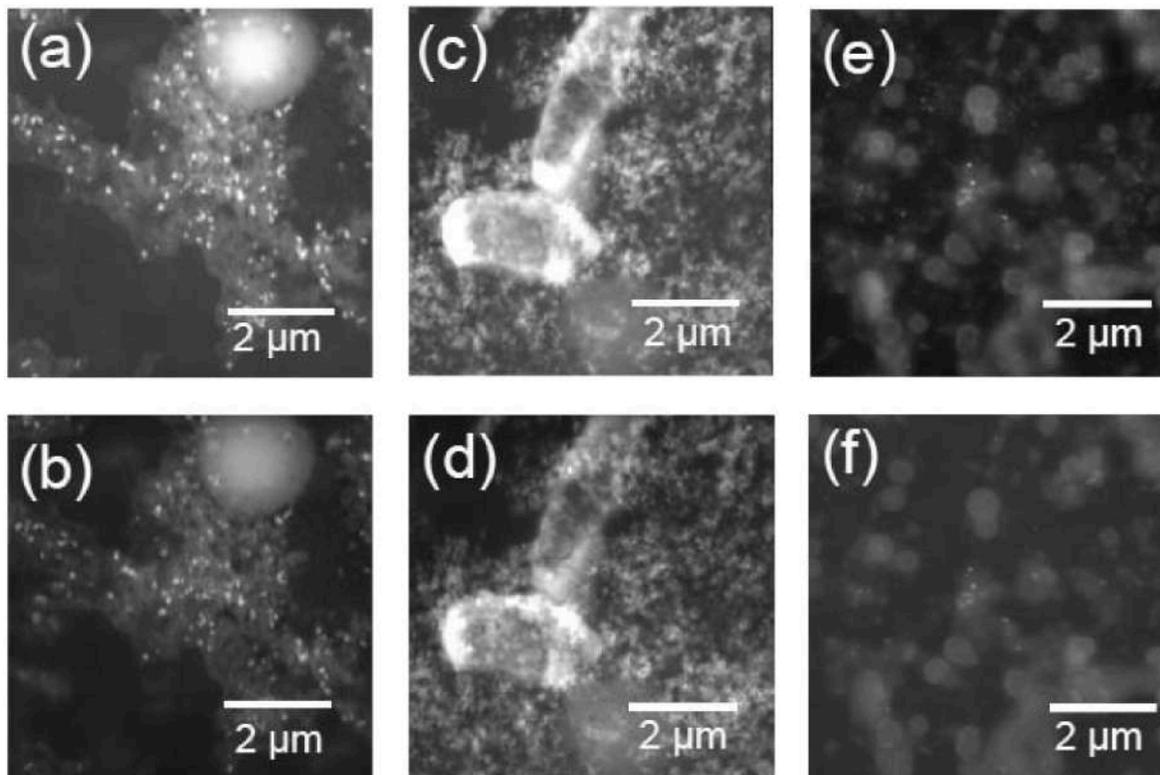
La determinación de la distribución del tamaño de las AgNPs se llevó a cabo mediante la técnica de DLS. Se puede observar que, para la síntesis de NPs con *Hypericum perforatum* como agente reductor existe un comportamiento bimodal de la distribución de tamaños, que se puede relacionar con el ancho de los espectros de UV-vis, con una campana que va de 4 a 20 nm y una segunda campana de 30 a 120 nm, lo cual se corrobora con lo reportado por Tortella *et al.*, (2018); mientras que, las AgNPs sintetizadas mediante *Cymbopogon citratus*, muestran un estrecho rango de distribución de tamaños que va de los 60 a los 105 nm.

3.7 Análisis de AgNPs con extractos naturales mediante SEM y TEM

Para corroborar el tamaño y morfología de dichas AgNPs sintetizadas con los diferentes sistemas, se llevó a cabo el análisis mediante SEM. El tamaño de las partículas para todos los sistemas fue menor a los 100 nm.

Figura 2

Imágenes de AgNPs obtenidas mediante SEM, en la parte superior se muestran por electrones secundarios usando a) *Hypericum perforatum*, c) *Cymbopogon citratus* y e) citrato de sodio. Las imágenes se constituyen por señales que utilizan electrones retrodispersados siendo para b) *Hypericum perforatum*, d) *Cymbopogon citratus* y, f) citrato de sodio.

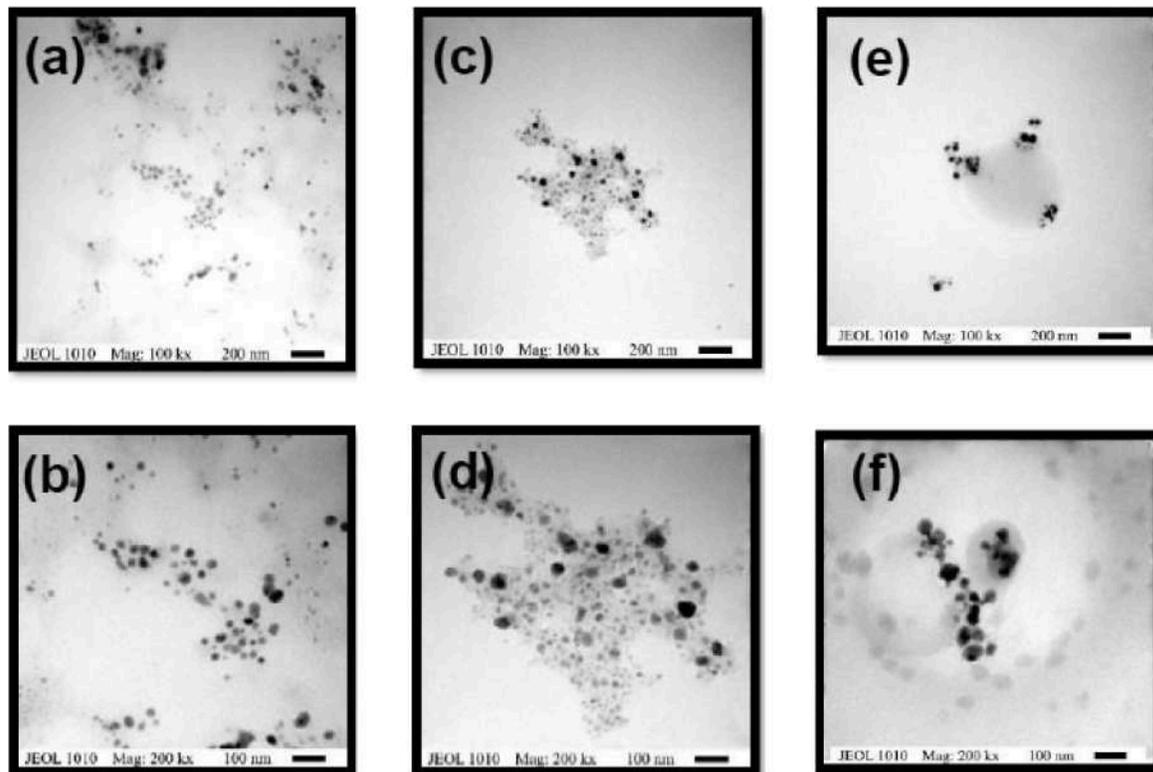


Debido a que, SEM es una técnica de baja energía no permite determinar los tamaños precisos de las NPs, es por esto que, fue necesario realizar TEM para la obtención del tamaño y morfología de estas, para dicho análisis se emplearon 100 mil y 200 mil magnificaciones.

En la **Figura 3a y 3b**, se muestran las micrografías de las NPs sintetizadas mediante *Hypericum perforatum* con una distribución bimodal y un tamaño de partículas en un rango que va de los 20 a los 50nm aproximadamente. En la **Figura 3c y 3d** se observan NPs de *Cymbopogon citratus* con un tamaño menor a los 10 nm, lo cual no se observó en el análisis mediante DLS. Sin embargo, la mayoría de ellas cuentan con un tamaño entre los 10 y 60 nm. Por otro lado, en la **Figura 3e y 3f** se obtuvieron NPs con citrato de sodio con un tamaño entre 30 y 60 nm. Todas las NPs mostraron una morfología semiesférica y una distribución de tamaño bimodal, lo que no afecta a sus propiedades antimicrobianas.

Figura 3

Imágenes de AgNPs obtenidas mediante TEM a 100 y 200 kx aumentos donde (a) y (b) corresponden a AgNPs reducidos con *Hypericum perforatum*, (c) y (d) sintetizados con *Cymbopogon citratus* y, finalmente, (e) y (f) para AgNPs con citrato de sodio.



3.8 Efecto bactericida

En la presente investigación se utilizaron dos métodos para determinar la inhibición bacteriana de los diferentes sistemas sintetizados, en primera instancia, la técnica de pozos que proporciona información cualitativa. En este caso, se eligieron dos cepas bacterianas, *Pseudomonas spp* (Gram⁻) y *Staphylococcus aureus* (Gram⁺). Se analizaron las propiedades antibacterianas de las soluciones de NPs, mostrando zonas de inhibición frente a *S. aureus* con un radio de 0.56 cm para AgNPs con *Hypericum perforatum* mientras que, el radio de la zona de inhibición formada por AgNPs con *Cymbopogon citratus* alcanzó 0.61 cm. La inhibición contra *Pseudomonas spp.* con un radio de 0.51 cm para AgNPs sintetizadas con *Hypericum perforatum* y 0.49 cm para NPs sintetizadas con citrato de sodio. Para los extractos naturales y la solución con citrato de sodio no existió un halo de inhibición para ambas cepas.

Por otro lado, se realizó un estudio cuantitativo para observar la actividad antibacteriana frente a un número específico de UFC / g con un tiempo definido por contacto cuando, las bacterias se encuentran en una fase de crecimiento activo. La inhibición de los extractos naturales y las AgNPs se llevó a cabo en tres cepas diferentes, *E. coli*, *Salmonella thypimurium* y *Clostridium perfringes* mediante el método de extensión de placa y se comparó la eficacia de los diluyentes para el semen de cerdo. Los análisis de las muestras mostraron que, los extractos naturales, AgNPs y, el diluyente comercial al entrar en contacto con la infusión, disminuyen el logaritmo de UFC / mL en comparación con el grupo control (sin agente antimicrobiano) en el caso de *E. coli* y *Salmonella thypimurium*. Las NPs disminuyen dos logaritmos en comparación con el control en la cepa de *Salmonella* más no en el caso de *E. coli* donde, sólo se observó una disminución de un logaritmo de concentración. BTS logró disminuir un logaritmo de concentración de *E. coli*, mientras que, para *Salmonella* no muestra un efecto sobre

el crecimiento logarítmico. En el caso de *Clostridium perfringens*, se observó que al contacto con las AgNPs hay una disminución en dos logaritmos de las UFC / mL al igual que con las infusiones en comparación con el control. En el caso de los extractos naturales, no se observó una disminución del logaritmo en *Clostridium perfringes* en comparación con *Salmonella thypimurium* y *E. coli*.

3.9 Estudio de la viabilidad de espermatozoides porcinos en presencia de AgNPs

En el **cuadro 2** se muestran los porcentajes de viabilidad espermática para los diferentes tratamientos con sus tres variantes en las concentraciones de AgNPs, en los cuales no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el periodo de estudio

Tipo de AgNPs (μL)	Tiempo de viabilidad (h)+			
	0 (%) DE \pm	24 (%) DE \pm	48 (%) DE \pm	72(%) DE \pm
T1	84' \pm 2.65	84.6' \pm 4.04	82.6' \pm 2.08	85.3' \pm 3.51
T2	87.3' \pm 0.57	87.3' \pm 2.52	83.3' \pm 1.15	83.6' \pm 1.58
T3	81.3' \pm 6.35	85.3' \pm 1.15	83.3' \pm 8.08	81.6' \pm 5.51
T4	85.3' \pm 2.31	84' \pm 11.79	83.3' \pm 4.16	82' \pm 8.19
T5	79' \pm 6.08	85.3' \pm 7.77	86' \pm 3.0	87.3' \pm 0.57
T6	85.6' \pm 4.04	87.6' \pm 5.13	83.6' \pm 3.79	86.3' \pm 2.52
T7	89.3' \pm 4.16	81' \pm 3.61	84.6' \pm 3.06	82.6' \pm 3.06
T8	85.6' \pm 2.08	82' \pm 2.65	83' \pm 5.57	83.6' \pm 1.52
T9	83' \pm 1.73	81.6' \pm 4.16	33' \pm 10.12	85.3' \pm 2.52
valor P	0.106	0.811	0.996	0.635

†: Valores porcentuales (%): Media \pm desviación estándar. a,b,c,d: Valores con distinta literal son diferentes entre columnas ($P < 0.05$). T1= Citrato 0.1 μL , T2= Citrato 0.5 μL , T3= Citrato 1 μL , T4= Hp AgNPs 0.1 μL , T5= Hp AgNPs 0.5 μL , T6= Hp AgNPs 1 μL , T7= Cc AgNPs 0.1 μL , T8= Cc AgNPs 0.5 μL , T9= Cc AgNPs 1 μL .

4. CONCLUSIONES

Se establecieron las concentraciones adecuadas de los extractos de *Hypericum perforatum* y *Cymbopogon citratus* en interacción con los espermatozoides porcinos, observándose que, para *Hypericum perforatum* se mantuvo una viabilidad seminal arriba del 70% para sus tres concentraciones en un periodo de tiempo de 72 horas en comparación con, *Cymbopogon citratus*, el cual tuvo un porcentaje de espermatozoides normales superior al 83% en el mismo lapso de tiempo para sus múltiples concentraciones, siendo superiores ambos porcentajes en comparación con el uso del BTS.

Las propiedades antimicrobianas de los extractos naturales mostraron efectos positivos contra las cepas de *E. coli*, *Salmonella thypimurium* y *Clostridium perfringes*, causantes de la apoptosis celular y, daños en la membrana espermática debido a que, la temperatura para la preservación seminal favorece el crecimiento de dichas bacterias.

Las propiedades antimicrobianas mostraron que, las AgNPs reducidas mediante citrato de sodio e *Hypericum perforatum* inhibieron mayor concentración bacteriana en las diversas cepas empleadas.

Se determinaron las concentraciones adecuadas de AgNPs necesarias para mantener una viabilidad seminal en un periodo de 72 horas, en donde, se observó que, para las tres soluciones en sus diferentes concentraciones se obtuvo un porcentaje superior al 80%, manteniendo un porcentaje de espermatozoides normales mayor al 80% de igual manera, siendo aptas para su uso en protocolos de inseminación artificial.

5. LITERATURA CITADA

Ajayi, E.; Afolayan A. 2017. Green Synthesis, characterization, and biological activities of silver nanoparticles from alkalized *Cymbopogon citratus* stapf. *Adv. Nat.Sci. Sci.* 8: 1-8

Del Valle Rodríguez, A. 2017. Evaluación de la calidad espermática de sementales porcinos utilizados en la monta natural. *Red. Vet.* 8:1-17

Gitea, D.; Teodorescu, A.; Pantis, C.; Mirela, T.; Bungau, A.; Bogdan, M.; Fodor, I.; Bustea, C. 2020. Green Synthesis of silver nanoparticles using *Hypericum Perforatum* L. extract and evaluation of their antibacterial activity. *Rev. Chim.* 2: 273-279

Güzel, A.; Akyüz, M.; ?anda, M.A. 2019. Determination of Antioxidant activity of *Hypericum perforatum*. *J. of Integrative and Anatolian Med.* 1(Suppl. 1): 9-18

Lomelí-Rosales, D.A.; Zamudio-Ojeda, A.; Cortes-Llamas, S.A.; Velázquez-Juárez, G. 2019. One-step synthesis of gold and silver non-spherical nanoparticles mediated by Eosin Methylene Blue agar. *Sci. Rep.* 9: 19327

Martínez-Solís, I. 2015. Fitoterapia. Elsevier Ed. 1a ed.

Mazzonello, A.; Valdramidis, V.V.; Farrugia, C.; Grima, J.N.; Gatt, R. 2017. Synthesis and characterization of Silver Nanoparticles. *IJMER* 7 (Suppl. 3): 41

PIC. 2015. Manual de manejo del centro de sementales de PIC. p. 18-19

Rubessa, M.; Feugang, J.M.; Kandel, M.E.; Schreiber, S.; Hesse, J.; Salerno, F.; Meyers, S.; Chu, I.; Popescu, G.; Wheeler, M.B. 2020. High-throughput sperm assay using label-free microscopy: morphometric comparison between different sperm structures of boar and stallion spermatozoa. *Animal Reproduction Science.*

Silva, B.; Ferreres, F.; Malva, J.; Dias, A. 2004. Phytochemical and antioxidant characterization of *Hypericum perforatum* alcoholic extracts. *Food Chemistry* 90: 157-167

Smith, S.L.; Nissamudeen, K.M.; Philip, D.; Gopchandran, K.G. 2008. Studies on surface plasmon resonance and photoluminescence of silver nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part. A.* 71: 186-190

Tortella, G.; Navas, M.; Parada, M.; Durán, N.; Barozzi Seabra, A.; Hoffmann, N.; Rubilar, O. 2019. Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Weeds and Optimized by Response Surface Methodology to the Control of Soil Pathogenic Bacteria *Ralstonia solanacearum*. *J. of Soil Sc. and Plant Nutrition* 19: 148: 156