

Pecuarios.com

Biblioteca Digital



Avicultura.mx



Ganaderia.com



Porcicultura.com

VOLUMEN 2 | SEPTIEMBRE – OCTUBRE 2024

ISSN-e: 2992-7293

COMITÉ EDITORIAL

Director:

Luis Felipe Islas Guerra

luis@pecuarios.com

Director Adjunto:

Javier Eduardo Ramos Morales

javier@pecuarios.com

Editores:

Dra. María Elena Trujillo Ortega

Dr. Miguel Ángel Alonso Díaz

Dr. Juan Carlos del Río García

Publicación de la Biblioteca Digital Pecuarios.com Año 2, Vol. 2, Núm 11, septiembre – octubre 2024, es una publicación bimestral editada por Pecuarios.com, calle León Guzmán #305-8, Colonia Centro, Teziutlán, Puebla, C.P. 73800, Tel. (231) 312-4060, <https://www.pecuarios.com>, editorial@pecuarios.com, Editor responsable: Luis Felipe Islas Guerra, luis@pecuarios.com. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo, género publicaciones periódicas 04-2024-030110590400-20, ISSN-e 2992-7293, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor.

Los artículos y fotografías son responsabilidad exclusiva de los autores. Los derechos de autor están reservados conforme a la Ley y a los convenios de los países signatarios de las Convenciones Panamericana e Internacional de Derechos de Autor. La reproducción parcial o total de este número solo podrá hacerse previa autorización escrita del Editor de la publicación. Derechos Reservados © 2022-2024, Pecuarios.com Última actualización: 01 de septiembre de 2024.

CONTENIDOS:

Avicultura.mx _____

Coriza Infecciosa en pollo de engorda y gallinas de postura

7

Autores: / *José Cruz*
Castro Zaragoza

Efecto de diferentes densidades nutricionales con y sin alimentación controlada en la productividad de la gallina Bovans White

13

Autores: / *Anaisa Azyadeth*
Leyva Díaz

Ganaderia.com _____

Diseño de una estructura de costos logísticos aplicados al transporte carretero pre - sacrificio de ganado bovino en México, con énfasis en bienestar animal **22**

Autores: / *Omar
Roldán Palafox*

Efecto de la administración individual y combinada de los inhibidores de metano nitrato y 3 - nitro - 1 - propionato sobre la fermentación ruminal In Vitro **32**

Autores: / *Alejandro
Castañeda Correa*

Efectos de Diferentes Dosis de Oxitocina sobre Producción de Leche en Vacas F1 (HxC) en el Trópico **37**

Autores: / *Luisa Fernanda
Patiño Botello*

**Marcadores genéticos SNP: una herramienta
biotecnológica para el estudio, manejo y mejoramiento
de poblaciones de ganado bovino** **42**

Autores: / *Francisco Joel
Jahuey Martínez*

**Tuberculosis bovina, ¿Dónde estamos y hacia dónde
vamos?** **48**

Autores: / *Susana
Flores Villalva*

Porcicultura.com _____

**Diarrea epidémica porcina en México: un enfoque
interdisciplinario para atender la problemática
emergente** **53**

Autores: / *José Francisco Rivera Benítez* / *Luis Gómez Núñez* / *Guadalupe Socci* / *Fernando Diosdado*

/ *Jazmín De la Luz Armendáriz* / *Rocío Lara Romero* / *Amaury Martínez Puebla*

/ *José Luis Cerriteño Sánchez* / *Leonel Sanabria Valle* / *Lilia Itzel Álvarez León* / *Armando Pérez Torres*

**Efectividad del enriquecimiento ambiental en sistemas
de producción de cerdos** **57**

Autores: / *Beatriz Zapata Salfate* / *Enrique Corona Barrera*

**En porcicultura lo más importante, después del cerdo,
es el personal** **65**

Autores: / *Roberto
Mendoza Pesquera*

Coriza Infecciosa en pollo de engorda y gallinas de postura

Introducción

El coriza infecciosa es una enfermedad del tracto respiratorio superior de los pollos, se caracteriza por producir descarga nasal, estornudo e inflamación facial. El agente etiológico de esta enfermedad es la bacteria *Haemophilus paragallinarum*. El impacto económico de esta enfermedad radica en las pérdidas que ocasiona a la avicultura, debido al retraso del crecimiento, pérdida de peso, incremento en el número de aves eliminadas y predisposición a la enfermedad respiratoria crónica complicada.

El objetivo de esta revisión es brindar a los lectores las últimas novedades y resaltar, de manera concisa, los principales aspectos generales de interés para las ciencias veterinarias. También se advertirá sobre los temas en los cuales se requiere dedicar más esfuerzos para investigar y cómo se deberían desarrollar nuevas estrategias para la profilaxis y el control de esta importante enfermedad.

Por razones de espacio se han seleccionado las citas bibliográficas de las últimas revisiones sobre el tema, agregando sólo algunos trabajos específicos de interés para completar los conceptos.

Importancia económica.

Las pérdidas registradas dentro de las granjas de producción de pollo de engorda se dan nivel mundial y se encuentra principalmente en países con producción intensiva, pues el hacinamiento y el estrés de estos sistemas de crianza incrementan la susceptibilidad de las aves y el contagio, no obstante cabe mencionar que también hay prevalencia de la enfermedad en las explotaciones semi-intensivas y de traspatio. L

La coriza infecciosa produce importantes pérdidas económicas debido a una considerable reducción de la producción de huevos (hasta un 40%) en gallinas ponedoras o reproductoras después de que alcanzan su pico de postura; al retraso del crecimiento y pérdida de peso en pollos de engorde (ocasionado por la diarrea y la reducción del consumo de agua y alimento); y al incremento del número de pollos descartados en el matadero por muerte por asfixia antes de ser colgados en el gancho y, a veces, por lesiones de dermatitis y celulitis.

Etiología

El género *Haemophilus* ha sido tradicionalmente definido como integrado por bacterias Gram negativas que requieren uno o dos factores de crecimiento: hemina (factor X) y nicotín-adenín-dinucleótido (NAD o factor V). Dentro de este género *H. paragallinarum* es el agente etiológico de la coriza infecciosa.

Otras tres especies bacterianas de la gallina doméstica, antes integrantes del género *Haemophilus* y descritas en conjunto como *H. avium*, se encuentran actualmente ubicadas dentro del género *Pasteurella*: *P. avium* y *P. volantium* y "Pasteurella especie A". Las dos primeras son completamente apatógenas mientras que la última se ha descrito como levemente viru-lenta para el tracto respiratorio de la gallina, aunque ninguna de ellas es causante de coriza.

Clásicamente estas cuatro especies bacterianas requieren únicamente del NAD para desarrollar. Originalmente la bacteria

considerada el agente causal de la coriza infecciosa se denominó *H. gallinarum* y erróneamente se demostró que requería ambos factores de crecimiento

Patogénesis

El proceso de patogénesis en las aves de *H. paragallinarum* es infecta al ave por vía respiratoria y luego de un corto período de incubación, que varía entre 1 a 3 días, produce una enfermedad que se manifiesta por inflamación catarral de los senos paranasales. Dado que esta bacteria sobrevive únicamente durante unas 5 hs fuera del ave, el contagio sólo se produce a través de los animales infectados, que ya han padecido la enfermedad y que permanecen como portadores de la bacteria en la granja durante prolongado tiempo.

En la coriza clásica no complicada las lesiones generalmente quedan confinadas al tracto respiratorio superior. La sinusitis puede estar asociada a inflamación de los barbillones, conjuntivitis o queratitis. Los síntomas clínicos persisten por 3 a 7 días y luego se produce su remisión.

Los cambios patológicos que se desencadenan a partir de las 20 horas post-infección (PI) alcanzan su máxima severidad a los 7-10 días PI y la reparación subsecuente recién finaliza a los 14-21 días PI. En las gallinas ponedoras causa alta morbilidad, baja o nula mortalidad y una importante pérdida en la producción de huevos, la que generalmente oscila entre un 10% y un 40%.

En pollos parrilleros puede causar un cuadro similar al descrito como "cabeza hinchada". Los casos de neumonía y aerosaculitis son menos frecuentes aunque también suelen ocurrir en las infecciones puras por estos hemófilos cuando las cepas infectantes tienen capacidad para producir septicemia. En estos casos se ha aislado *H. paragallinarum* de órganos internos, articulaciones y de globos oculares con o sin lesiones.

Muchas veces cuando las lesiones ya se encuentran en franca remisión y *H. paragallinarum* ya no puede aislarse del tracto respiratorio, *P. gallinarum* produce a continuación una sinusitis y panoftalmía purulentas muy severas, con pérdida del globo ocular y reemplazo de su contenido por masas caseosas.



Síntomas y lesiones clínicas

La coriza infecciosa ha sido descrita como una enfermedad sólo importante para la gallina en postura. Sin embargo esta enfermedad ocurre tanto en pollos parrilleros y pollas en recría como en gallinas ponedoras y reproductoras.

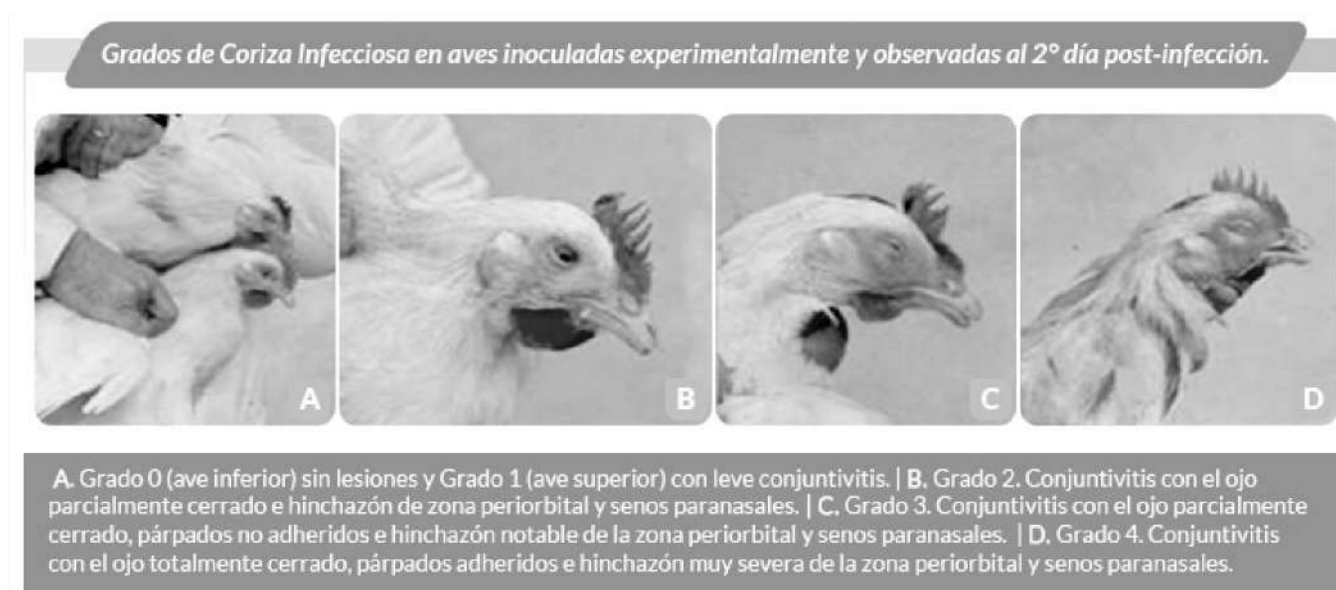
Los síntomas más comunes son descarga nasal, tumefacción facial, lagrimeo, anorexia y diarrea. Cuando la infección se difunde al tracto respiratorio inferior los animales afectados evidencian reales.

Como consecuencia de estos síntomas disminuye el consumo de alimentos y agua con el consiguiente retardo en el crecimiento o disminución de la postura, aumentando el número de aves que deben descartarse .

En pollos parrilleros se han descrito casos más severos, aunque menos frecuentes, caracterizados por celulitis fibrinopurulenta de la cabeza y barbillones, aerosaculitis, septicemia generalizada y artritis. En los casos de coriza no complicada generalmente se produce alta morbilidad y baja o nula mortalidad.

Sin embargo, si la cepa infectante es muy patógena o si existe asociación con otros agentes infecciosos puede ocurrir alta mortalidad.

Las aves enfermas, según sus signos clínicos y lesiones de la cabeza, pueden ser clasificadas en cuatro grados:



Enfermedades asociadas

En campo se ha demostrado que su mayor impacto de la Coriza Infecciosa se encuentra asociada a otros agentes infecciosos víricos o bacterianos como el virus de la bronquitis infecciosa, *Mycoplasma gallisepticum*, *Avibacterium gallinarum* (antes denominada *Pasteurella gallinarum*), *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. o *Pasteurella multocida*, la enfermedad se agrava y prolonga su curso denominándose Coriza Infecciosa Complicada?

Gráfico 1

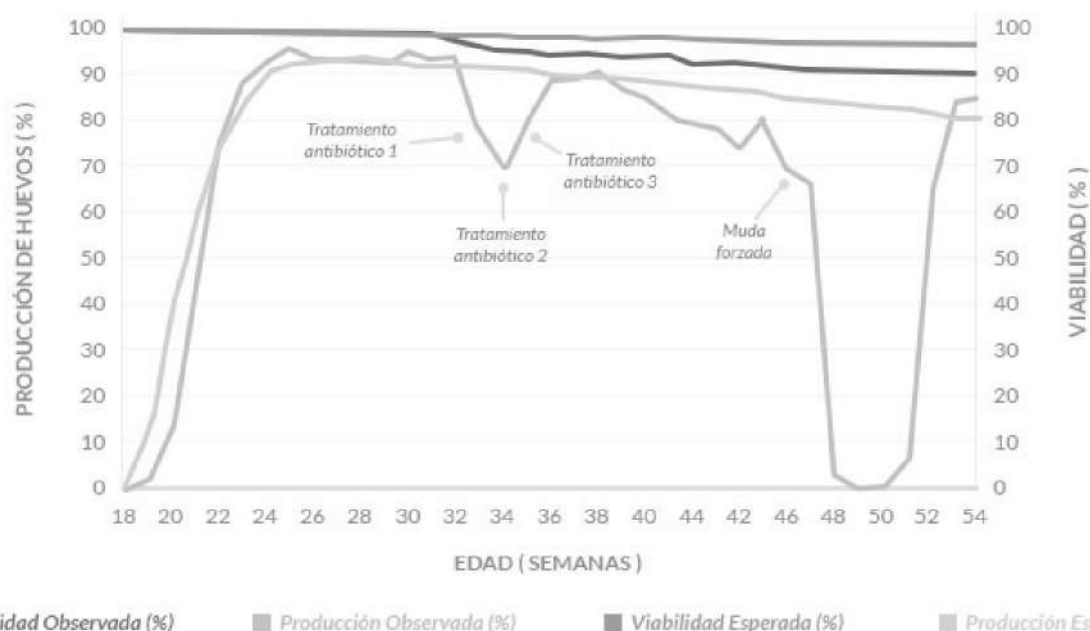


Gráfico comparativo de la producción y viabilidad esperadas para la línea Lohmann Brown Classic y las observadas en un severo brote de Coriza Infecciosa Complicada con asociación de *Mycoplasma gallisepticum* y parásitos intestinales, además de mal manejo de la granja y pobres condiciones de bioseguridad. Nótese que la viabilidad de las aves prácticamente no se ve afectada mientras que la postura lo hace de forma significativa.

Obsérvese la pronunciada caída de la postura a partir de la semana 32 y la dificultad para mantener la producción de huevos luego de sucesivos tratamientos antibióticos (semanas 33, 34 y 35). A partir de la semana 46 se suspendió el suministro de alimento durante 5 días para producir un replume con ausencia total de producción, la misma se reinició a partir de la semana 51.

En pollos de engorde, puede causar un cuadro clínico descripto como "síndrome de la cabeza hinchada" en el cual *Avibacterium paragallinarum* se asocia a otros agentes infecciosos, como por ejemplo *Escherichia coli*, *Bordetella avium*, *Mycoplasma gallisepticum* y/o los virus de la Rinotraqueítis del Pavo (TRT) o de la bronquitis infecciosa, entre otros. Las aves que sufren un cuadro complicado no se curan fácilmente y suelen permanecer con diversas secuelas, siendo común un aumento de la mortalidad y el descarte de un número importante de aves.

Prevención de Coriza infecciosa mediante vacunación

Vacunación

En la actualidad se emplean bacterinas o vacunas inactivadas bivalentes (serovariedades A-1 y C-1) o trivalentes (A-1, B-1 y C-2) según la incidencia de los serogrupos en las distintas regiones geográficas.

Sin embargo, se han descripto casos en los cuales las vacunas utilizadas no protegieron adecuadamente, como ocurrió con las cepas de la serovariedad B descriptas como "variables" y que poseen muy alta patogenicidad. Debido a ello, estas cepas tuvieron que adicionarse a la formulación estándar de algunas vacunas comercializadas en las regiones en donde se encuentran presentes.

Esto ocurre porque cuando se utilizan vacunas basadas en antígenos muertos no existe protección cruzada entre los tres serogrupos y en algunos casos tampoco entre las 9 serovariedades, de modo que es necesario incluir aquellas serovariedades

que estén presentes en la zona geográfica a la cual se destinan las vacunas. Por lo tanto, en ciertos casos, la aplicación de autovacunas o bacterinas autógenas que incluyen la cepa aislada de la granja es la única medida preventiva eficaz.

Las vacunas se inyectan a las aves durante la recría, usualmente antes de la postura y se recomienda vacunar por vía subcutánea en la región dorsal del cuello, en el área distal de la cabeza, aunque también pueden inocularse por vía intramuscular en la pechuga. La inmunización de las aves debe realizarse antes de las 20 semanas de vida, administrando dos dosis separadas por un intervalo de 3-4 semanas, recomendándose que la última dosis sea administrada unas 3 semanas antes del comienzo de la puesta de huevos.

En zonas expuestas a la enfermedad, es recomendable aplicar una dosis inicial extra a las 5 semanas de vida. Sólo en casos de riesgo de brotes de la enfermedad se recomiendan las vacunaciones de refuerzo en gallinas ponedoras y reproductoras en postura. Por otro lado, para las gallinas replumadas es conveniente revacunar 10 días después de que haya finalizado el replume.

La protección completa de las gallinas se alcanza a partir de los 15-20 días después de la segunda dosis y dura entre 11 y 14 meses, de acuerdo con el tipo y calidad de la vacuna. En el mercado se dispone de vacunas con adyuvantes de gel de hidróxido de aluminio y otras con emulsiones oleosas, entre otras.

Los pollos de engorde sólo se vacunan excepcionalmente cuando se crían en zonas muy expuestas al contagio, administrando una sola dosis al primer día de vida o a los 15 o 20 días de vida.

Tratamiento.

En el tratamiento de la coriza infecciosa existen diferentes formas de suministrar el tratamiento, esto puede ser de forma oral o intramuscular siendo as dos formas más utilizadas, para el tratamiento se han empleado distintos quimioterapéuticos y antibióticos administrados en el agua de bebida, muchas veces combinados con tratamientos inyectables en las aves más afectadas.

Dado que la difusión de la enfermedad suele ser lenta entre las hileras de jaulas, se debe inyectar y reinyectar a los animales que presentan síntomas y al mismo tiempo medicar en el agua o en el alimento.

Algunos ejemplos serían el uso de enrofloxacin a razón de 10mg/kg de peso corporal o amoxicilina a razón de 20mg/kg durante por lo menos una semana. También se han utilizado las combinaciones de sulfacloropiridazina-trimetoprima y sulfadimetoxina-trimetoprima en el agua de bebida, pero su administración debe ser muy cuidadosa porque pueden causar lesiones renales en las aves.

Frecuentemente los casos de Coriza Infecciosa se complican con *Mycoplasma* spp.; en esos casos un ejemplo de tratamiento clásico y que aporta muy buenos resultados es el uso de estreptomycin a razón de 100 mg/kg de peso corporal, conjuntamente con tilosina (30 mg/kg), inyectando la combinación de ambos antibióticos por vía subcutánea. Otros tratamientos parenterales por vía subcutánea para casos no asociados a *Mycoplasma* spp. son enrofloxacin (20-25 mg/kg) o kanamicina (30 mg/kg) asociada con gentamicina (5-8 mg/kg).

Estos tratamientos han dado resultados satisfactorios, se ha observado un incremento en la resistencia bacteriana. Por este motivo, y considerando que la susceptibilidad antimicrobiana es variable, lo más recomendable es realizar pruebas de sensibilidad a la cepa aislada para seleccionar el antimicrobiano más adecuado y definir estrategias de rotación de los medicamentos a utilizar.

El uso indiscriminado y periódico de antimicrobianos sin la realización de pruebas para determinar la sensibilidad de las cepas presentes en la granja, promueve la resistencia de la bacteria a los antimicrobianos reduciendo el efecto del tratamiento, lo que además resulta en un gasto innecesario.

Control de las instalaciones.

Es de suma importancia el control de la granja mediante el sistema todo dentro y todo fuera para poder llevar a cabo la fumigación, la cual recobra importancia al poder limpiar y desinfectar las instalaciones y los implentos utilizados en la crianza de la aves.

Es importante fumigar (con gota gruesa) con amonios cuaternarios para evitar el contagio por vía aerógena sobre los animales, realizando una pasada rápida 2 veces por día.

Es importante resaltar que la fumigación sólo funciona como medida complementaria en aves vacunadas, pero su acción es de poca ayuda cuando las aves no se han inmunizado. Debe considerarse que, después del tratamiento, la infección puede controlarse pero nunca se logra eliminar totalmente de la granja, siendo muy importantes los programas de bioseguridad y desinfección.

Las aves que han enfermado, una vez recuperadas actúan como portadoras sanas, por lo que lo más recomendable es tratarlas en primera instancia, realizar pruebas de sensibilidad para futuros tratamientos en la granja y además realizar la inmunización de todas las nuevas aves que ingresen al establecimiento afectado.

Bibliografía

BLACKALL, P. J.; TERZOLO, H. R. Coriza infecciosa: Revisión de métodos diagnósticos y vacunas. Revista de la Asociación Argentina de Microbiología 27: 156-174, 1995.

SANDOVAL, V. E.; TERZOLO, H. R. Coriza Infecciosa. Primera Parte: Descripción de la enfermedad, el agente y los brotes de campo". Revista Avicultura Profesional 14 (8): 29-35, 1996.

Soriano VE. Serotipificación de aislamientos de Haemophilus paragallinarum bajo un esquema de hemoaglutininas (tesis de maestría). México (D.F.) México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.

Soriano VE. Coriza infecciosa. Memorias IX Jornadas Médico Avícolas; 2003 febrero 18-20; Cd. Universitaria (DF) México. México (DF): Departamento de Producción Animal: Aves Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México

http://patologiaaviarmidiagnostico.blogspot.com/2012_05_01_archive.html

http://www.produccionbovina.com/produccion_avicola/37-coriza_infecciosa.pdf

Efecto de diferentes densidades nutricionales con y sin alimentación controlada en la productividad de la gallina Bovans White

Leyva DAA^{a*}, Fuente MB^a, Balderas GA^a, Rosales ME^b, Ávila GE^a

^aCentro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Avícola-FMVZ-UNAM, ^bAsesor en zootecnia.

Introducción

Considerando que la alimentación de las gallinas de postura representa el 67% de los costos de producción, los incrementos constantes de las materias primas para la elaboración de alimento y pensando que sus necesidades nutricionales están sobre estimadas, cualquier ajuste tanto en la forma de alimentarlas como en la disminución de nutrientes para optimizar el comportamiento productivo de la gallina se verá reflejado en un ahorro en el costo de la alimentación por lo que se planteó el presente trabajo con el objeto de evaluar el efecto de dos densidades nutricionales con y sin alimentación controlada sobre el comportamiento productivo de gallinas Bovans White de primer ciclo.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.A.) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México; localizada en la calle de Manuel M. López S/N en la Colonia Santiago Zapotitlán de la Delegación Tláhuac, Ciudad de México. Se encuentra a una altitud de 2240 msnm entre los paralelos 19°17' latitud Norte y los meridianos 99° 02' longitud oeste⁽¹⁾.

Todos los procedimientos de manejo de las aves cumplieron con los requisitos señalados por el comité institucional para el cuidado y uso de animales experimentales (CICUA-FMVZ-UNAM con base a la norma oficial mexicana NOM-062-ZOO-1999).

Se utilizaron 432 gallinas de postura, de la línea Bovans White de 83 semanas de edad y 64 semanas en producción, con un peso promedio inicial de $1827.8 \pm 82.3g$, alojadas en una caseta de ambiente natural con jaulas tipo California de dos niveles con una distribución piramidal (450 cm² por ave), con bebederos de copa por cada dos jaulas y un comedero tipo canaleta (13.3 cm/ave).

Las aves se distribuyeron en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2x2 el primer factor fue el tipo de dieta (una dieta normal que cubrió las necesidades nutricionales de acuerdo al manual de la estirpe, y una dieta con disminución en nutrientes) y el segundo factor fue el tipo de alimentación (*ad libitum* y consumo controlado diariamente) cada tratamiento contó con 9 repeticiones de 12 aves cada una (3 aves por jaula). Se les proporcionó un fotoperíodo de 16 hrs de luz por día. El agua se ofreció a libre acceso durante todo el experimento.

Se formuló una dieta con base en sorgo + pasta de soya, con 15.12% de PC, 2820 kcal/kg de EM y 0.77% lisina digestible, (dieta normal) y se formuló otra dieta con base en sorgo + pasta de soya, isocalórica reducida en proteína y lisina digestible, con 15% de PC y 0.71% lisina digestible (dieta baja) los demás nutrientes fueron acorde a las necesidades nutricionales de la gallina Bovans White y a la fase de producción⁽²⁾ (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Dieta normal y con baja densidad empleada en gallinas Bovans White de primer ciclo (kg).

INGREDIENTE	DIETA NORMAL	DIETA BAJA DENSIDAD
Sorgo	632.397	636.681
Pasta de Soya	201.104	199.656
Carbonato de calcio	118.620	118.625
Aceite de soya	26.998	25.799
Fosfato de calcio	6.367	6.364
Sal	4.407	4.406
DL-Metionina 99%	2.402	1.903
Premezcla de vitaminas ¹	2.000	2.000
L-Lisina HCl	1.648	0.912
Premezcla de minerales ²	1.000	1.000
L - Treonina	0.616	0.203
Cloruro de colina 60%	0.500	0.500
Otros	1.900	1.900
Total	1000	1000
Costo en pesos mexicanos ³	\$4880.39	\$4791.36
ANÁLISIS CALCULADO		
Energía metabolizable, kcal/kg	2820	2820
Proteína cruda, %	15.129	15.097
Metionina + cistina digestible, %	0.630	0.580
Lisina digestible, %	0.770	0.710
Fósforo disponible, %	0.340	0.340
Calcio total, %	4.600	4.600
Sodio, %	0.180	0.180
Acido linoleico, %	2.145	2.089

¹Vitaminas/kg: vitamina A 6000.00 KUI, vitamina D3 1000 KUI, Rovimi Hy D 1.25% 2500 mg, vitamina E 15000 mg, vitamina K3 1750.19 mg, vitamina B1 1250.28 mg, vitamina B2 3500 mg, vitamina B6 1750.70 mg, vitamina B12 10 mg, Niacina 15000.62 mg, ácido pantoténico 5000.40 mg, ácido fólico 500 mg, biotina 50 mg, bioCholine poder 80 mg, aceite mineral 5 g, cantaxantina 1000 mg.

²Minerales/kg: Manganeso 120.0g, Zinc 100g, Hierro 120g, Cobre 12g, Yodo 0.7g, Selenio 0.4g, Cobalto 0.2g, y cuanto baste para un kilo

³Precios obtenidos de CONAFAB. Comparativo de precios indicativos de materias primas (LAB Jalisco) febrero 2016

Los tratamientos experimentales, consistieron como se señala a continuación:

Tratamiento 1.- Dieta normal, alimentación *ad libitum*.

Tratamiento 2.- Dieta baja en nutrientes, con alimentación *ad libitum*.

Tratamiento 3.- Dieta normal, con alimentación controlada (101g).

Tratamiento 4.- Dieta baja en nutrientes, con alimentación controlada (101g).

Durante los 70 días de experimentación se llevaron registros semanales de porcentaje de postura, consumo de alimento ave d⁻¹ (g), peso promedio de huevo ave d⁻¹ (g), masa de huevo ave d⁻¹, conversión alimentaria (kg:kg), porcentaje de huevo roto, sucio y en fáfara (sin cascarón).

Al inicio y final del experimento se pesaron 144 gallinas del total de la población (16 gallinas por tratamiento) mediante un muestreo aleatorio sin remplazo⁽⁸⁾ para determinar ganancia o pérdida de peso.

Finalizando el experimento se evaluó la calidad interna de huevo (4 huevos por réplica) con un equipo de marca TSS y la coloración de la yema con un colorímetro marca TSS QCC Yolk Colour con transformaciones a valores absolutos de abanico de DSM.

A los datos obtenidos de las variables antes mencionadas, se les realizó un análisis con forme al diseño experimental empleado, y la comparación múltiple de medias después de que el ANDEVA detectó diferencias, se realizó mediante la prueba de Tukey con una $p < 0.05$, con el paquete computacional SPSS ver. 17.

Resultados

En los resultados obtenidos en 70 días de experimentación sobre el comportamiento productivo de la gallina Bovans White a través del tiempo se observa que el porcentaje de postura disminuyó a lo largo de las semanas de experimentación de 89.6% a 81.5% ($p < 0.01$), afectando a la masa de huevo, iniciando con 58.2g y presentando una disminución en 4.7g durante el período de experimentación ($p < 0.01$); aumentando el índice de conversión alimentaria de 1.845 a 2.016 ($p < 0.01$). En el caso del peso de huevo (64.8g), consumo de alimento ave d⁻¹ (106.7g), porcentaje de huevo roto (5.96%) y huevo sin cascarón (3.94%), no influyó el tiempo sobre estas variables ($p > 0.05$).

La respuesta productiva promedio de las gallinas Bovans White al ser alimentadas con dietas de normal y baja densidad, con alimentación *ad libitum* y controlada, se muestran en el **Cuadro 2**. En el tipo de alimentación *ad libitum* o controlada, se encontró en peso de huevo una disminución de un gramo en la dieta donde la alimentación era controlada (64.3g) con respecto a la dieta *ad libitum* (65.3g) ($p < 0.05$). El consumo de alimento fue menor en 10g por ave/día en la dieta controlada (101g) con respecto a la dieta *ad libitum* (111g) ($p < 0.05$). Por consecuencia el índice de conversión que es una relación entre el alimento y el peso del huevo disminuyó, mejorando en la dieta controlada respecto a la dieta *ad libitum* (1.853 vs 1.974 kg:kg respectivamente) ($p < 0.05$). El costo de producción de un kilogramo de huevo por concepto de alimentación para la dieta controlada \$8.96 y la dieta *ad libitum* \$9.54, lo que representó en un ahorro de \$0.58 por kilogramo de huevo en la dieta controlada. La respuesta a la masa de huevo ave día⁻¹ con alimentación *ad libitum* y controlada, disminuyó en la dieta controlada (55.2g) en 1.5g con respecto a la alimentación *ad libitum* (56.7g) ($p < 0.05$).

Las variables porcentaje de postura, porcentaje de huevo roto, sucio y en fáfara, no fueron afectadas por el tipo de alimentación ($p > 0.05$). La respuesta productiva de la gallina Bovans White en cuanto al tipo de dieta normal o de baja densidad (**Cuadro 3**) no se vio afectada ($p > 0.05$).

No se encontró interacción entre el tipo de alimentación (controlada o *ad libitum*) ni al tipo de dieta (normal o baja densidad) en los parámetros productivos ni en porcentaje de huevo roto y sucio ($p > 0.05$).

Se encontró una tendencia a disminuir el porcentaje de huevo sin cascarón ($p = 0.053$) en la dieta de baja densidad con alimentación controlada (2.72%) con respecto a la dieta *ad libitum* y de baja densidad (5.26%). Las dietas de alta densidad con alimentación *ad libitum* y controlada, fueron muy similares (3.52% vs 4.26% respectivamente).

Cuadro 2. Respuesta productiva en gallinas Bovans White de 83 a 93 semanas de edad, con alimentación ad libitum y controlada y dietas de normal y baja densidad

	Postura, %	PH, g	Consumo, g	ÍCA kg/kg	MH, g	HUEVO		
						Roto, %	Fárfara, %	Sucio, %
ALIMENTACIÓN								
Ad libitum	86.92	65.3 ^a	111.8 ^a	1.974 ^a	56.7a	6.41	4.39	3.01
Controlada	85.86	64.3 ^b	101.8 ^b	1.853 ^b	55.2 ^b	5.51	3.49	3.48
EEM	0.85	0.28	0.49	0.01	0.52	0.70	0.57	0.44
DIETA								
Normal	87.15	64.6	106.3	1.893	56.3	6.13	3.89	3.53
Baja	85.63	64.9	107.1	1.934	55.6	5.78	3.99	2.96
EEM	0.85	0.28	0.49	0.01	0.52	0.70	0.57	0.44
PROBABILIDAD								
Alimentación (A)	0.38	0.01	0.01	0.01	0.04	0.37	0.27	0.46
Dieta (D)	0.21	0.44	0.24	0.09	0.32	0.72	0.90	0.37
A * D	0.62	0.37	0.85	0.77	0.93	0.86	0.05	0.42

EEM= Error Estándar de la Media

Literales distintas en la misma columna, muestran diferencia estadística (p<0.05)

Los resultados obtenidos en la calidad de huevo al final del experimento se muestran en el **Cuadro 3**. Para el tipo de alimentación el grosor de cascarón, color de la yema y unidades Haugh no fueron afectados por el tipo de dieta o la forma de alimentar a las aves (p>0.05).

Cuadro 3. Calidad de huevo de las 83 a las 93 semanas de experimentación en gallinas Bovans White, con alimentación ad libitum y controlada empleando dietas con baja densidad.

	Grosor de cascarón, (mm)	Color de la yema*	Unidades Haugh
ALIMENTACIÓN			
Ad libitum	0.35	12	85.95
Controlada	0.35	12	87.75
EEM	0.006	0.09	0.073
DIETA			
Normal	0.35	12	87.16
Baja	0.35	12	86.53
EEM	0.006	0.08	0.073
PROBABILIDAD			
Alimentación	0.81	0.99	0.094
Dieta	0.70	0.75	0.54
Alimentación * Dieta	0.14	0.80	0.74

EEM= Error Estándar de la Media

*Determinado con un espectrofotómetro de reflectancia de la marca TSS con transformaciones a abanico de DSM

Los resultados obtenidos para el cambio de peso durante los 70 días de experimentación se muestran en el **Cuadro 4**, donde se observa que todos los tratamientos perdieron peso de manera similar no se encontró un efecto entre el tipo de dieta o la forma de alimentar a la gallina ($p>0.05$).

Cuadro 4. Cambio de peso durante 70 días de experimentación en gallinas Bovans White de 83 semanas de edad, con alimentación ad libitum y controlada y dietas de normal y baja densidad .

	Peso inicial. (g)	Ganancia de peso. (g)
ALIMENTACIÓN		
Ad libitum	1843.8	-34.6
Controlada	1811.7	-71.3
EEM	18.36	26.08
DIETA		
Normal	1815.2	-32.2
Baja	1840.3	-73.7
EEM	18.36	26.08
PROBABILIDAD		
Alimentación	0.21	0.32
Dieta	0.33	0.26
Alimentación * Dieta	0.43	0.92

EEM= Error Estándar de la Media

Discusión

Hocking *et al.*⁽⁶⁾ indicaron que los programas de restricción de alimento poco agresivos pueden mejorar los índices de bienestar y pueden ser compatibles con alta producción de huevos, efecto que se observó en la producción obtenida en esta prueba, que fue mayor (86.4%) a la tendencia mencionada en el manual de la estirpe (72.1%)⁽²⁾.

Las aves en el presente estudio consumieron en promedio 301 kcal/ave, al realizar el cálculo que menciona el NRC⁽³⁾ el consumo promedio resulto en 332 kcal/ave, y aplicando la fórmula de Rostagno *et al.*⁽¹²⁾ se obtuvo un consumo promedio de 329 kcal/ave mientras que el manual de la estirpe señala una ingesta de 291 kcal/ave a las 80 semanas de edad⁽²⁾. Al comparar los resultados obtenidos del presente estudio con los diferentes tipos de alimentación (controlada y *ad libitum*) y el tipo de dieta (normal y baja densidad), se encontró que los consumos de energía fueron similares a lo que menciona el NRC⁽³⁾ y Rostagno *et al.*⁽¹²⁾ (**Cuadro 5**) ($p>0.05$), al utilizar como parámetro el valor del manual de la estirpe⁽²⁾ mediante una prueba de Z con los tipos de dieta y forma de alimentación, se encontró que las aves del presente estudio consumieron más kilocalorías de lo que menciona el manual de la estirpe a excepción de la alimentación controlada que fue menor a la que menciona el manual de la estirpe. Por lo que las necesidades energéticas que menciona el manual de la estirpe podrían estar sobreestimadas, debido a que las aves con alimentación controlada mostraron mayor producción que lo que menciona el manual.

Cuadro 5. Consumo de kilocalorías ave/día, durante 10 semanas de experimentación en gallinas Bovans White de 83 semanas con alimentación *ad libitum* y controlada, y dietas de normal y baja densidad.

	ENERGIA METABOLIZABLE, KCAL/AVE		
	Obtenido	NRC, 1994 ²	Rostagno, 2011 ²
ALIMENTACIÓN			
Controlada (15.3g) ¹	287.1 ^a	329.2 ^a	326.2 ^a
Ad libitum (16.8g)	315.0 ^b	335.2 ^b	332.3 ^b
EEM	1.39	1.88	1.83
DIETA			
Normal (16.0g)	299.9	331.8	329.1
Baja (16.1g)	302.2	332.6	329.4
EEM	1.39	1.88	1.83
PROBABILIDAD			
Alimentación	<0.0001	0.03	0.02
Dieta	0.24	0.76	0.89
Alimentación * dieta	0.85	0.56	0.61

¹Números entre paréntesis indican el consumo de proteína

²El consumo de energía se calculó de acuerdo a las fórmulas que mencionan estos autores

EEM= Error Estándar de la Media

Literales distintas (a, b) en la misma columna indican valores estadísticamente diferentes (p<0.05)

Durante el estudio las aves perdieron peso. La mayor pérdida se observó en las aves con dieta de baja densidad y alimentación controlada, en promedio perdieron 72.5 g durante todo el estudio (p>0.05) (**Cuadro 4**).

Esta pérdida no afectó ninguno de los parámetros productivos, debido a que las aves se encontraban 8% por encima del peso que menciona el manual de la estirpe, por lo que posiblemente las aves utilizaron sus reservas energéticas para compensar la disminución de la ingesta, la densidad del alimento y la variación de la temperatura, que osciló entre 9.7 a 30 °C ⁽¹¹⁾.

En este estudio el consumo de ácido linoleico tanto en la alimentación *ad libitum* (2.36%) como en la alimentación controlada (2.15%) fue superior a las recomendaciones del NRC⁽³⁾ y Wu *et al.*⁽¹³⁾ quienes mencionan que la necesidad de ácido linoleico no es mayor al 1.15% para aumentar tamaño de huevo, por lo que el efecto que pudo tener el ácido linoleico sobre el tamaño de huevo no se vio reflejado en ninguna de estos dos tipos de alimentación pudiendo ser atribuido a la ingesta de proteína y aminoácidos azufrados.

Fuente *et al.*⁽⁵⁾, mencionan que el consumo de proteína mínimo debe de ser de 15% para tener una máxima producción, resultados que fueron confirmados en este experimento, en el cual se obtuvo como mínimo 15.4% de ingesta de proteína. El peso de huevo es muy sensible a la disminución de proteína y aminoácidos ⁽¹¹⁾ este efecto se observó en la dieta controlada, estas aves consumieron en promedio 1.5g menos proteína que las gallinas que tenían una alimentación *ad libitum*. Al limitar proteína y aminoácidos tenemos como resultado un efecto benéfico para tamaño de huevo en aves viejas, ya que el huevo producido por estas es demasiado grande, además, los sistemas metabólicos de las aves alimentadas con proteína y

aminoácidos ideales no trabajan tan duro para eliminar el exceso de nitrógeno, por lo que hay una mayor eficiencia de utilización de ambos nutrientes para la producción ⁽¹¹⁾.

Por otro lado, la ingesta de lisina y aminoácidos azufrados fue menor en 5% para las gallinas con alimentación controlada en donde se ve la disminución de tamaño de huevo, con respecto a las de libertad (Cuadro 6), resultados similares a los obtenidos por Rama *et al.*⁽¹⁰⁾ sin afectar la producción de huevo. Se calculó el consumo de lisina y de aminoácido azufrados por gallina durante la prueba. Se observa que hubo una menor ingesta de aminoácidos al mantener una alimentación controlada, seguido por el tipo de dieta con baja densidad, normal y finalmente la alimentación *ad libitum* siendo menor el consumo de aminoácidos de la dieta controlada. De igual forma al realizar el cálculo de estos aminoácidos con las fórmulas propuestas por Coon ⁽⁴⁾, Lesson ⁽⁷⁾ y Rostagno *et al.* ⁽¹²⁾ se encontró que cada autor tiene sus propias recomendaciones de aminoácidos, quedando los consumos de lisina y aminoácidos azufrados de esta prueba (789 y 645 mg/ave) superiores a lo que menciona Lesson (693 y 582 mg/ave)⁽⁷⁾, Coon (737 y 619 mg/ave)⁽⁴⁾, e inferiores a lo que menciona Rostagno *et al.* (804 y 676 mg/ave)⁽¹²⁾.

Los consumos de lisina mg/ave en general obtenidos en la prueba, en comparación con el manual de la estirpe (845mg/ave) ⁽²⁾ son inferiores en cualquiera de los casos. En cuanto a los aminoácidos azufrados la dieta de densidad baja y alimentación controlada es la más cercana a los requisitos del manual ⁽²⁾ (639 mg/ave).

En cuanto a la disminución de huevo sin cascarón en las dietas controladas, no se encontró explicación aparente, a este evento.

De los resultados obtenidos bajo las condiciones experimentales empleadas, se puede concluir que:

1. El empleo de una dieta de baja densidad proteica no afectó los parámetros productivos: ni el porcentaje de huevo sucio y en fáfara, así como la calidad interna del huevo, ni la ganancia de peso de las aves.
2. El tipo de alimentación *ad libitum* o controlada no afectó la producción de huevo, el porcentaje de huevo roto, sucio y en fáfara, así como el grosor de cascarón y el color de la yema.
3. La alimentación controlada disminuyó el peso de huevo, el consumo de alimento, la masa de huevo y la conversión alimentaria.
4. El ahorro kilogramo de huevo producido por concepto de alimentación, fue. de \$0.58.

Referencias

1. INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Marco Geoestadístico Nacional*. México, Aguascalientes. 2010.
2. ISA A Hendrix Genetics Company. *Bovans White Commercial Management Guide*. ISA A Hendrix Genetics Company; 2015.
3. NRC. National Research Council. Nutrient requirements of poultry. 9th Rev. Ed. NAS-NRC. Washington D.C. 1994.
4. Coon C, Zhang B. Ideal amino acid profile and metabolizable energy requirements for layers. 59^a Conferencias de nutrición y *Si IPC Simposio técnico*. Bloomington, Minnesota. 1998.
5. Fuente MB, Mendoza MG, Arce MJ, López J, Ávila GE. *Respuesta productiva de gallinas a dietas con diferentes niveles de proteína*. *Arch de med vet* 2011, 44 (1): 67-74.
6. Hocking PM, Maxwell MH, Mitchell MA. Relationships between the degree of food restriction and welfare indices in broiler breeder females. *Br Poult Sci* 1996; 37(2):263-278

7. Lesson S, Summers J. Nutrition of the chicken. 4th ed. Guelph, Ontario, Canada: University Books. 2001.
8. Méndez RI, Eslava GG, Romero MP. Conceptos básicos de muestreo. México: UNAM-IIMAS; 2004.
9. Pérez BA, Jabbour C, Frikha M, Mirzaie S, Garcia J, Mateos GG. Effect of crude protein and fat content of diet on productive performance and egg quality traits of brown egg-laying hens with different initial body weight. *Poult Sci* 2012b; 91(6): 1400-1405
10. Rama RS, Ravindran V, Srilatha T, Panda AK, Raju M. Effect of dietary concentrations of energy, crude protein, lysine, and methionine on the performance of White Leghorn layers in the tropics. *J App Poult Res* 2011; 20(4):528-541.
11. Rosales ME. *Actualización de la nutrición de la ponedora moderna*. 8^a Reunión Internacional Aviespecialistas de México. San Juan del Rio, Querétaro, México: 2015a.
12. Rostagno SH, Albino TFL, Donzelr LJ, Gomes CP, Oliveira FR, Lopes CD, Ferreira SA, Barreto TSL, Euclides FR. Tablas Brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales. 3^a ed. Universidad Federal de Vicosa : Departamento de Zootecnia. 2011.
13. Wu G, Bryant MM, Voitle RA, Roland DA. Effect of Dietary Energy on Performance and Egg Composition of Bovans White and Dekalb White Hens During Phase I. *Poultry science* 2005; 84(10):1610-1615.

Diseño de una estructura de costos logísticos aplicados al transporte carretero pre - sacrificio de ganado bovino en México, con énfasis en bienestar animal

RESUMEN

La logística pre-sacrificio constituye, en esencia, todos aquellos eslabones que implican transportar, manejar y gestionar el trayecto de un animal desde la explotación hasta la planta de sacrificio. El desconocimiento total o parcial de los costos por parte de algunos transportistas, no sólo los pone en desventaja ante sus competidores, sino también ante sus clientes o usuarios, y esto coloca en peligro a la industria ya que el costo de movilización afecta directamente al precio del ganado. Estos cambios, a la vez, incentivan al desarrollo de prácticas de administración de costos más innovadoras, ya que el **bienestar animal** en la logística y transporte de **ganado bovino** tiene una importancia vital para la calidad de los productos y la eficiencia productiva.

El presente trabajo tiene como objetivo, identificar, diseñar y proponer una **estructura de costos** logísticos, con énfasis en el **bienestar animal**, aplicable al transporte carretero pre-sacrificio de **ganado bovino**; este documento fue realizado con doble propósito: el primero sin duda es identificar los costos que incurren directamente a la aplicación de la tarifa de transporte; y el segundo objeto, consiste en la propuesta de diseño de la estructura que permita fijar en forma eficiente los procesos logísticos costeables en el **transporte carretero** de **ganado bovino** en México con énfasis en el **bienestar animal**, que facilite por si misma el cálculo del costo real por cabeza.

Finalmente, la creación de la **estructura de Costos** será una herramienta útil y eficiente para la toma de decisiones en el transporte ganadero, esto para que en un corto plazo los interesados puedan tener un instrumento estratégico que coadyube a la productividad y rentabilidad, respetando el **bienestar animal**.

Palabras Clave: Transporte carretero, estructura de costos, Ganado Bovino, Bienestar Animal.

I. INTRODUCCIÓN

La globalización del comercio en asociación con una creciente demanda de proteínas de origen animal, han dado lugar a un considerable aumento en el número de animales criados, transportados y sacrificados en todo el mundo [17]. Por su parte México ocupa, en 2015 a nivel mundial: el 5to lugar como productor de ave, el 6to como productor de carne de bovino y 15to lugar como productor de carne de cerdo [18] esto pone a la ganadería como actividad clave para el desarrollo del país, tan solo en el 2015 se sacrificaron 6.73 millones de cabezas de **ganado bovino** esto según el Consejo Mexicano de la Carne [16]. El valor de esta industria en el extranjero tanto de ganado en pie como de productos cárnicos, equivale a 1,382.2 millones de dólares [18].

Pero en realidad los valores anteriores serían nulos sin la presencia del transporte, ya que el valor máximo de los productos se genera una vez que llegan al siguiente proceso o a manos del consumidor, de tal modo que puede ser una actividad medular en cuanto a gestión, reducción de costos y sobre todo maximización de ganancias.

Pero hoy en día un sistema no solo puede centrarse en números, ya que cada vez el consumidor, está más interesado en el **bienestar animal**. En México contamos con algunas leyes estatales y normas oficiales relativas al manejo y protección de los vertebrados no humanos [2]. Hay datos que sugieren que el transporte de animales es una actividad estresante que

compromete el **bienestar animal** [19], La logística y el transporte de los animales tienen una importancia vital para el **bienestar animal**, la calidad de los productos y la eficiencia productiva [15]. La gestión eficiente de una cadena logística pre-sacrificio que tenga al bienestar animal como eje, tendrá un impacto positivo en las ganancias de los productores [4]. De este modo el bienestar animal, no solo puede tomarse como un aspecto ético, en realidad es un tópico muy importante para garantizar la renta.

El presente documento describe el diseño y propuesta de una **estructura de costos** que permita tener una buena administración del transporte de **ganado bovino** tomando en cuenta el **bienestar animal** y sus impactos positivos para una mayor eficiencia productiva, así mismo para la facilitación de toma de decisiones; y de esta manera tener un mejor panorama del precio de compra venta del ganado.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La cadena de suministro es una actividad estratégica en la industria ganadera [14], ya que su principal función es coordinar a todos los participantes, (Ganaderos, engordadores, procesadores) y más aún el transporte que es el proceso que une a todos esos participantes. La necesidad de transportar animales destinados al sacrificio se presenta esencialmente en las operaciones comerciales. [17]. Una cadena en la industria cárnica implica a la cría y engorde, transporte y logística pre-sacrificio, transformación, distribución y venta al menudeo. [6]

El adecuado desempeño de la cadena de suministro depende en gran parte del transporte [17]. Así, el transporte forma parte de la logística, que es el conjunto de medios y métodos que permiten organizar y comercializar un servicio, un producto o una empresa.

En términos generales, un adecuado funcionamiento de esta actividad puede ayudar a reducir los costos generales de los productos a entregar. La combinación adecuada de estas actividades, bajo la denominación genérica de costos logísticos, permite definir los elementos a partir de los cuales habrán de seleccionarse las posibles alternativas de transporte.

El transporte de ganado bovino para abasto, puede efectuarse por diversos medios: A pie, Por carretera, Vía marítima y Aérea. En cuestión de las condiciones e infraestructura de México, el **transporte carretero** de **ganado bovino** supera por mucho a los demás medios habituales.

La intensidad de esta experiencia depende principalmente de la calidad de la conducción, la duración del viaje, los niveles de vibración, el ayuno, las condiciones atmosféricas, el diseño de los vehículos, la densidad de carga y la mezcla social [14].

Un elemento clave en una cadena logística es el sistema de transporte, debido a que es un componente esencial y una actividad estratégica para la industria ganadera, además de ocupar un tercio de los costos destinados a la logística [20].

Típicamente, transportar un animal al rastro es una responsabilidad de los ganaderos y algunos intermediarios, con la participación intermitente de transportistas carniceros y empresas retail.

El transporte de ganado es sin lugar a duda es la etapa más estresante y peligrosa en toda la cadena de operaciones entre la finca y el matadero, y contribuye significativamente al maltrato del animal y a las pérdidas de producción. [17]

El **bienestar animal** según: Duncan IJ. H, La Comisión europea y Greiveldinger L. et al. Se refiere al estado interno de un animal vertebrado cuando enfrenta al ambiente que lo rodea, por lo que comprende su estado de salud, su percepción del entorno y sus estados mentales.

El **bienestar animal** en la logística y transporte de los animales tienen una importancia vital para la calidad de los productos y la eficiencia productiva. [8], de tal modo que para el diseño de una estructura vanguardista de costos de transporte de ganado se deben tomar algunos parámetros de dicho indicador.

F. Montossi. en el 2016 Menciona que, desde el punto de vista del consumidor, hay una creciente preocupación sobre la sostenibilidad de la intensificación de las cadenas de producción y sus posibles daños sobre el medio ambiente, salud humana y **bienestar animal**. Esta tendencia ya es muy arraigada en los mercados europeos, y poco a poco se puede notar que en México va ganando más terreno.

Esto pone al **bienestar animal** en una posición muy importante en la cadena productiva de **ganado bovino** para abasto, sobre todo en el transporte, y su aporte en cuanto a productividad y calidad de los productos, es decir una mala estrategia de operación del transporte, podría poner en riesgo la calidad de los productos finales.

Organismos internacionales se han dado a la tarea de indagar sobre los impactos del **bienestar animal** tal es el caso de la FAO que en el 2001 publico las diversas causas negativas que puede dejar un mal transporte, en las que se destacan: Estrés, Hematomas, Asfixia, Pisotones, Fallo cardiaco, Estrés por calor, Insolación, Distensión estomacal, Envenenamiento, Depredación, Deshidratación, Extenuación, Lesiones y Peleas.

Siendo muy notorio el riesgo de pérdidas económicas durante este proceso muy delicado. Es por ello que diversos países establecen un marco regulatorio que permita gestionar este tipo de situaciones.

En México para mantener un mejor control del transporte, sanidad animal y trato humanitario de ganado, se establece una serie de normas y leyes que puede ayudar a cumplir en las mejores condiciones esta actividad, siendo estas:

- NOM-051-ZOO-1995. Que establece el Trato Humanitario en la movilización de animales
- Ley federal de sanidad animal, misma que establece los procedimientos y documentos para asegurar la sanidad animal.
- NOM-024-ZOO-1995, Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos.

A lo anterior se puede decir que la gran parte del éxito durante el transporte ganadero se debe a las personas que se encargan de administrarlo y operarlo, ya que se requiere un alto compromiso, responsabilidad y un buen comportamiento ético hacia los animales, para que la carga llegue a su destino en las mejores condiciones posibles y al menor costo.

El tema de los costos de operación del autotransporte de carga se ha convertido en un factor determinante de la competitividad empresarial. [13] Desde el punto de vista económico, las densidades pueden incrementar o disminuir los costos unitarios de operación. [5], mismas llamadas economías de escala, aunque para el sector ganadero el volumen de carga excesivo, puede restar productividad y por su parte un bajo volumen puede traer consigo incidentes (Caídas) durante el tiempo de traslado.

Teniendo una buena planeación de la **estructura de costos** y con una correcta operación, se podrá minimizar el costo por cabeza movilizada (Costo fijo), y por otra parte con una buena planeación y optimización logística para la ejecución del servicio, tenderá a reducir el costo por cabeza-kilometro (Costo variable).

Lo anterior, permite establecer un margen estratégico de ganancias al precio del propio transporte o bien al precio de venta del ganado, y así se podrán evitar precios excesivos o bien muy bajos que puedan dismantelar la industria.

Incluir también, factores como las características propias de los productos, en este caso cargas vivas, y el diseño de la cadena de suministro como las rutas y programación de las mismas a medida de lo posible, permitirá operar en las mejores condiciones la administración del transporte de ganado.

Por todo lo anterior, Jiménez, Barrón concluye que en la determinación del precio del transporte por tonelada-kilómetro existen muchas variantes que bien pueden encontrarse en el paraguas de las siguientes dos condiciones:

- Alto precio de transporte por tonelada-kilómetro se deriva de una tarifa de transporte alta, distancias cortas y baja densidad peso-volumen de la carga.
- Bajo precio de transporte por tonelada-kilómetro se deriva de una tarifa de transporte baja, grandes distancias y alta densidad peso-volumen de la carga.

Para lograr el precio de mercado es recomendable que el precio de transporte se determine a partir de la consideración explícita de estas variables.

El cálculo de la tarifa de transporte según la interpretación de José Elías Jiménez y Marisol Barrón 2013 y sus aportaciones en 2014 se compone de 3 variables indispensables, las cuales consisten en lo siguiente:

La primera (CF) son los costos fijos, que es la suma el costo total relacionado con los sueldos y salarios de la dirección y gerenciamiento, seguros, impuestos, derechos e incluye el gasto de los servicios domésticos que utilizan, entre otros.

La segunda variable (CV), suma todos aquellos gastos que incurren durante la prestación del servicio de transporte, por ejemplo, combustible, mantenimiento, llantas, gastos de camino, operador, entre otros.

Y por último (D) que es la distancia a recorrer del viaje.

De tal modo que la formula para el calculo de la tarifa, en su aplicación mas simple queda de la siguiente forma:

$$T = CF + CV(D)$$

Contar con un sistema nos permite tener un mayor control de los procesos con mayor efectividad. Además, un sistema de transporte debe tener la capacidad de mostrar información que ayude a tomar mejores decisiones, cosa que no podría suceder sin un sistema tal cual.

Dichas decisiones pueden facilitarse si se basan principalmente en indicadores, que coadyuben al crecimiento de una empresa, y esto no sería posible sin una **estructura de costos** adaptada a las condiciones actuales de industria, tal cual es el caso de un mayor énfasis en el **bienestar animal**.

III. METODOLOGÍA

El objeto de estudio del presente proyecto fueron los procesos logísticos de transporte carretero pre-sacrificio de ganado bovino. Para cumplir el objetivo propuesto se desarrollaron las siguientes actividades: Identificación de los procesos logísticos que impactan el **bienestar animal** durante el transporte, posteriormente determinar cómo afectan a la **estructura de costos** y, por último, basándose en la formula de cálculo de la tarifa se estructuro el modelo de costeo.

Los datos que se manejaron se obtuvieron mediante la búsqueda documental, en la normatividad actual a nivel nacional, y en la opinión de diversos autores, estos datos fueron a una serie de tablas en Excel, las cuales permitirán extraer la información de manera precisa y confiable, una vez que en estudios futuros se sistematice la propuesta, sin embargo se pudo generar un lay out preliminar, aplicando la fórmula de la tarifa para que el operador o interesado teniendo los datos de su embarque, pueda ingresarlos para generar el costo exacto por cabeza.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este sentido, con la normatividad actual a nivel nacional, se identificaron los costos logísticos con énfasis en el **bienestar animal** que impactan directamente a la tarifa de transporte ganadero:

Tabla 1. Estructura, variables, tipos, criterio y determinación de los costos logísticos

VARIABLE	TIPO DE COSTO	CRITERIO	DETERMINACIÓN
Sueldo del Chofer	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Seguro	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Impuestos	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Reparaciones	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Administración	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Carga y Descarga	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Cama	CF	Tipo de carga	(Tarifa fija por mes / # viajes por mes)
Manrenimiento	CV	Distancia - Tiempo	(Distancia a recorrer / Distancia de mantenimiento) *Costo del mantenimiento
Depreciación	CV	Distancia - Tiempo	(Distancia a recorrer / vida útil Kms) *Costo del vehículo
% Comisión	CV	Distancia - Tiempo	(% *Costo total)
LLantas	CV	Distancia - Tiempo	((Distancia a recorrer / vida útil Kms) *Costo de la llanta)*# de llantas)
Descanso del ganado sin bajar del transporte	CV	Tiempo	(Sumatoria de descansos* costo del descanso)
Descanso del ganado fuera del transporte	CV	Tiempo - Ruta	(Sumatoria de descansos por ruta* costo del descanso)
Agua y Alimento	CV	Tiempo	(Alimento recomendado en relación al descanso)
Diesel	CV	Distancia- Tiempo	(Rendimiento sin carga + Rendimiento cargado) *costo del combustible
Casetas	CV	Ruta	Sumatoria de casetas por ruta
Viáticos	CV	Ruta	Sumatoria de viáticos por ruta
Imprevistos	CF	Ruta	(Tarifa fija por mes / viajes por mes)
Rastreo satelital	CF	Tiempo	(Tarifa fija por mes / viajes por mes)
Capacitación del chofer	CF		(Tarifa fija por mes / viajes por mes)
Suministros	CV	Distancia -Tiempo	(Distancia a recorrer *% costo por KM) + % costo por ruta
Documentos referentes a la sanidad animal	CV	Ruta	Sumatoria de costos por documento
COSTO TOTAL			CF + CV
COSTO TOTAL POR KILÓMETRO			CT / Km a recorrer
COSTO TOTAL POR TONELADA			CT / Toneladas a cargar
COSTO TOTAL POR CABEZA			CT / #Animales cargados

Fuente: Elaboración propia con datos de la normatividad nacional vigente. *Expandir si el lector lo requiere.

Una vez que se ha estructurado la propuesta, se llegó a la siguiente definición raíz: ¿Es una estructura de costeo, planeación de transporte, y seguimiento de la calidad del **bienestar animal** que se requiere para llevar a cabo la ejecución del proceso, dirigido por el encargado de transporte o ganadero y ejecutado por el operador. La estructura facilita dicho proceso, para cumplir con las entregas en tiempo y forma requeridas por el cliente al menor costo. Es una estructura donde están definidos los parámetros a seguir para respetar el bienestar animal que deben de presentar los procesos logísticos y a partir de ahí se procede a la ejecución de la movilización de los animales?.

En investigaciones futuras se podrá crear un sistema, el cual permitirá proyectar los costos de la empresa en el futuro y poder realizar así una planeación del transporte más efectiva. Además, dentro del sistema se pueden considerar las restricciones del mismo, las cuales pueden ser las características del vehículo, tiempos y movimientos, espacio disponible de carga, una buena conciliación de documentos referentes a la sanidad animal la resistencia al cambio que pueden presentar los empleados, inexistencia de equipo de cómputo adecuado, poca habilidad para el manejo de Excel, recurrencia de proveedores en prestar un servicio de mala calidad, etc.

Imagen 1. Interfaz para datos de entrada.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Datos básicos																	
2																		
3																		
4	Destino				Origen				Tipo de carretera				#casetas					
5																		
6	status zoosanitario				status zoosanitario													
7																		
8	Información del camión																	
9																		
10																		
11	Placas		No Ud.		Área del tractor		Área del remorque											
12																		
13	Configuración de las corraletas																	
14																		
15																		
16	Número de corraletas				Número de pisos													
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23	Detalles de ganado																	
24																		
25																		
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		
36																		
37																		
38																		
39																		
40																		
41																		
42																		
43																		
44																		
45																		

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

Imagen 2. Interfaz para datos de salida.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	Origen											
3	Destino											
4	Vehículo											
5												
6	Distancia Total	0.00		Despreciación	\$ -		Chofer					
7	Vacio	0.00		Costo del V.	\$ -		Capacitación					
8	Cargado	0.00		Vida Util Kms	0.00		Seguro					
9				Pago chofer	\$ -		Impuestos					
10	Tiempo Total	0.00		Mensual	\$ -		Reparaciones					
11	Conduciendo	0.00		5%	\$ -		Administración					
12	Paradas prog.	0.00					Suministros					
13	Gasolina	0.00		LLantas	\$ -							
14	Descanso de gan	0.00		Costo	\$ -							
15				Kms	0.00							
16	Costo Paradas	0.00										
17	Programas	0.00		Mantenimiento	\$ -							
18	Descanso	0.00		A cada Kms	0.00							
19	Gasolina	0.00		Costo	\$ -							
20	Alimento	0.00										
21												
22	Costo	\$ -		Descanso	\$ -							
23	Caseta de Cobro	\$ -										
24	Diesel	\$ -		Otro costo a Km	%	\$ -						
25	Descanso	\$ -		Otro costo a Ruta	%							
26	Mantenimiento	\$ -										
27	Desgaste de LLan	\$ -		Rendimiento Diesel	\$ -							
28	Descripción	\$ -		Cargado	0.00	0.00	Rendimiento Lts					
29	Costos Fijos	\$ -		Vacio	0.00	0.00	Rendimiento Lts					
30	Otros costos	\$ -		Costo combustible	\$ -							
31	Chofer	\$ -										
32	Costo Total	\$ -		Casetas	\$ -							
33	Costo promedio	\$ -										
34	Toneladas	0.00										
35	Costo / Ton	\$ -										
36	Costo * Cabeza	\$ -										
37												
38												

Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

Por otro lado, en las imágenes 1 y 2 se muestra el modelo o lay out conceptual en Excel, en donde se observan las actividades logísticas y costos de la estructura propuesta, con sus respectivas entradas y salidas. Todo esto siguiendo las propuestas de [13] sus adaptaciones y aportes en [11] y [12] en donde expresan la caracterización de la estructuración de costos en el cálculo de la tarifa de transporte. Y de este modo se puede tener una estructura y diseño base, aplicable para la sistematización del mismo.

V. CONCLUSIONES

Después de la realización del presente trabajo se obtienen las siguientes conclusiones:

En general, el ganadero en México no cuenta con una referencia de costo o sistema que le apoye a determinar o negociar su tarifa, y muchos no son capaces de generar su propio sistema de referencia.

Los conocimientos de los costos logísticos en relación al **bienestar animal** son determinantes, no sólo para la competitividad, y calidad de los productos sino para la supervivencia de los ganaderos y evitar el deterioro del sector.

La demanda futura de productos cárnicos necesitará de un flujo del producto diferente al que tradicionalmente sigue; y los sistemas actuales deberán reestructurarse para reducir las mermas durante la movilización del **ganado bovino**, en el **transporte carretero**, atender mejor a las exigencias del mercado y usar eficientemente la infraestructura existente, sin una

estructura de costos en el transporte, esto sería impensable.

A pesar de lo imprescindible de estos retos, el sector ganadero tiene la oportunidad de no sólo reaccionar ante las tendencias mundiales, sino que puede ser líder en la producción, distribución de alimentos con mayor calidad y al menor costo posible.

VI. DEDICATORIAS

Con dedicatoria especial, a mi esposa Karen Calva Portillo y a nuestro hijo que pronto llegara a nuestras vidas.

VII. REFERENCIAS

1. BAKER, J.A., TAVARES, R.J., MOTTHÉ, V.M., MORAIS, L.M. (2014). Recejt analysis of Cement bags in the cement CSN. UniFOA Special Edition Production Engineering. 29:43
2. BEATRIZ WANDA. (2012). Bioética UNAM. Obtenido de http://www.bioetica.unam.mx/assets/bienestar_animal.pdf.
3. COMISIÓN EUROPEA. (2004). Global conference on animal welfare: an OIE initiative. Proceedings. Paris, 23-25 de febrero. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo, 333 pp.
4. DE ALUJA A. Bienestar animal en la enseñanza de Medicina Veterinaria y Zootecnia. ¿Por qué y para qué? Vet Méx 2011; 42: 137-147.
5. DE LA FUENTE J, SANCHEZ M, PEREZ C, LAUZURICA S, VIEIRA C, GONZALEZ DE CHAVARRI E et al. Physiological response and carcass and meat quality of suckling lambs in relation to transport time and stocking density during transport by road. Animal 2010; 4: 250-258.
6. DELGADO EJ, RUBIO MS, ITURBE FA, MENDEZ RD, L. CASSIS L, ROSILES R. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in México. Meat Sci 2005; 69: 465-471.
7. DUNCAN I J H. 1996. Animal welfare defined in terms of feelings. Acta Agriculturae Scandinavica, Sec A, Animal Science, Suppl. 27, 29-35.
8. GENARO C. MIRANDA-DE LA LAMA. (7 de agosto de 2013). Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. México: SCIELO.
9. GREGORY, N.G., 2007. Animal Welfare and Meat Science, 2nd Edition. CAB International, Wallingford, U.K.
10. GREIVELDINGER L, VEISSIER I, BOISSY A. Emotional experience in sheep: Predictability of a sudden event lowers subsequent emotional responses. Physiol Behav. 2007; May 21.
11. JOSE ELÍAS JIMÉNEZ, MARISOL BARRÓN BASTIDA 2014. (2014). Costos de las tarifas de transporte de carga. Énfasis logístico, edición Julio.
12. JOSE ELÍAS JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MARISOL BARRÓN BASTIDA,. (2017). Costos de las tarifas de carga. Énfasis logístico.
13. JOSÉ ELÍAS JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MARISOL BARRÓN BASTIDA. (2013). Factores para determinar los costos del autotransporte. IMT.
14. LEWIS NJ. Transport of early weaned piglets. Appl Anim Behav Sci 2008; 110: 128-135.
15. MIRANDA-DE LA LAMA GC, RIVERO L, CHACON G, GARCIA-BELENQUER S, VILLARROEL M, MARIA GA. Effect of the pre-slaughter logistic chain on some indicators of welfare in lambs. Livest Sci 2010; 128: 52-59.

16. MEXICAN BEEF. (2016). Mexican Beef. Obtenido de Estadísticas: <http://www.mexicanbeef.org/index.php>.
17. PHILIP G. CHAMBERS, TEMPLE GRANDIN. (2001). Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado. Bangkok: FAO.
18. (2016). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de SAGARPA: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016
19. TARRANT, P. V. (1990). Transport of cattle by road. Applied Animal Behaviour Science, 28, 153?170.
20. TSENG YY, YUE WL, TAYLOR MAP. The role of transportation in logistics chain. Proc East Asia Soc Transportation Stud 2005; 5: 1657-1672.

Efecto de la administración individual y combinada de los inhibidores de metano nitrato y 3 - nitro - 1 - propionato sobre la fermentación ruminal In Vitro

Alejandro Castañeda Correa^{ab}, Julian Trachsel^c, Heather K. Allen^c, Agustín Corral Luna^b, Michael E. Hume^a, Todd R. Callaway^a, Robin C. Anderson^{a*}, y David J. Nisbet^a

^aUSDA/ARS, Food & Feed Safety Research Unit, 2118 F&B Road, College Station, Texas 77845, USA

^bFacultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, Chih. México, Periférico Francisco R. Almada km 1, Chihuahua, CHIH, 31453, MX.

^cUSDA/ARS Food Safety and Enteric Pathogens Research Unit, 1920 Dayton Ave, Ames, Iowa, USA

RESUMEN

La metanogénesis ruminal es considerada un proceso digestivo ineficiente, ya que durante esta se libera energía dietética en forma de metano (CH₄) y que a la vez contribuye al incremento en la emisión de gases con efecto invernadero (GEI). El nitrato (NO₃) y el 3-nitro-1-propionato (ANP) son nitrocompuestos capaces de inhibir la metanogénesis ruminal. Con el objetivo de evaluar concentraciones sub-toxicas de NO₃ y ANP en forma individual y combinada sobre la producción de CH₄ y las características de fermentación, se desarrolló un experimento utilizando 4 µmol de ANP, 8 µmol de NO₃, 16 µmol de NO₃ y la combinación de 4 µmol de ANP con 8 µmol y 16 µmol de NO₃ bajo un diseño completamente al azar. La producción de CH₄ disminuyó (P < 0.05) en todos los tratamientos en > 96% con relación al control. No se observó efecto (P > 0.05) de la adición de nitrocompuestos sobre la concentración de hidrógeno, sin embargo fue < 50% en relación al control. Se observó un consumo casi total (> 95%) del ANP en los tratamientos en los que se administró individualmente. El ANP y el NO₃ se catabolizaron en < 17% y > 95% respectivamente cuando se administraron en forma combinada. Sin embargo, la concentración de nitrito (NO₂) en los tratamientos a los que se administró NO₃ osciló entre 3 y 12 µmol/mL, lo que representa entre 38% y 69% del NO₃ añadido, respectivamente. La concentración de ácidos totales disminuyó (P < 0.05) en > 32% en los tratamientos individuales y > 46% en los tratamientos combinados en relación al control. La proporción acetato:propionato se incrementó (P < 0.05) hasta 3 veces en todos los tratamientos en relación al control. El balance de hidrógeno indica que la adición de ANP y NO₃ disminuye la producción de agentes reductores en todos los tratamientos, aunque su efecto es mayor cuando se añaden en combinación. La adición de ANP y NO₃ disminuye efectivamente la producción de CH₄, aunque disminuye la fermentación ruminal. Estos resultados servirán de base para futuras investigaciones sobre los efectos inhibitorios de ANP y NO₃ sobre la metanogénesis ruminal.

PALABRAS CLAVE: Metano, metanogénesis, nitrato, 3-nitro-1-propionato, nitrito y fermentación ruminal.

INTRODUCCIÓN

La metanogénesis ruminal es considerada una pérdida de energía dietética que oscila entre 4% en animales alimentados a base de concentrado y hasta 12% en animales alimentados con forraje (Johnson y Johnson, 1995). La emisión de CH₄ a partir de los rumiantes contribuye hasta 20% de las emisiones totales en los Estados Unidos, además de que posee un potente efecto invernadero (EPA, 2006). Actualmente, se está investigando el uso de nitrocompuestos como aditivos en la alimentación animal para reducir la emisión de CH₄ en los rumiantes. Por consiguiente, se propone como una posible solución el uso de nitrato (NO₃) debido a que es una molécula energéticamente favorable, es decir que es capaz de captar electrones utilizados en la metanogénesis ruminal y de esta manera disminuir la emisión de CH₄ hacia la atmósfera. Sin embargo, existe la preocupación de que el nitrito (NO₂, un intermediario metabólico del NO₃) se acumule dentro del rumen e inhiba la actividad microbiana y

que su absorción al organismo cause una intoxicación por metahemoglobinemia (Marais *et al.*, 1988). Por otro lado, se ha observado que algunos nitrocompuestos de cadena corta tales como el nitroetano, 2-nitroetanol, 2-nitro-1-propanol y el 3-nitro-1-propionato reducen la producción de CH_4 *in vitro* (Anderson y Rasmussen, 1998; Anderson *et al.*, 2003; Božić *et al.*, 2009; Gutiérrez *et al.*, 2008) e *in vivo* (Anderson *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2007). Sin embargo, desde un punto de vista práctico, estos nitrocompuestos no son moléculas atractivas para su uso como aditivos en la alimentación animal debido a que son compuestos sintéticos y por lo tanto, se tendrían que desarrollar más experimentos para asegurar su inocuidad en el rumiante. Además, sus subproductos tales como el aminoetano, etanolamina y el aminopropanol son de bajo valor nutricional para el rumiante. Por esto, también se propone como aditivo el uso de 3-nitro-1-propionato (ANP) que es un metabolito secundario de las plantas y hongos que se metaboliza a α -alanina, un aminoácido no esencial que es utilizado por el rumiante como una fuente de nitrógeno, carbono y energía (Datos aún no publicados). De esta manera, es probable que estos nitrocompuestos sean vistos de manera favorable por las agencias reguladoras de alimentos como una alternativa de solución para incrementar la eficiencia energética del rumiante a través de la disminución en la emisión de GEI. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar si la adición de ANP y de NO_3 en forma individual o combinada es capaz de reducir la metanogénesis sin ocasionar efectos adversos a la fermentación ruminal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló de acuerdo a la técnica descrita por Gutiérrez *et al.* (2008). El líquido ruminal se obtuvo en un tiempo menor a 30 min a partir de una vaca Jersey canulada ruminalmente y alimentada con pastura de rye grass bajo condiciones de pastoreo. Para el estudio se utilizaron tubos de cultivo de 18 x 150 mm. En cada uno se depositaron 9 mL de cultivo ruminal, 0.2 g de alfalfa molida y 1 mL de líquido ruminal fresco y filtrado en cuatro capas de tela. Todo el proceso se realizó bajo una atmósfera 100% anaerobia utilizando bióxido de carbono. Los tubos se cerraron con tapones de butilo y se aseguraron con aros de aluminio. En cada tratamiento se administraron volúmenes < 0.5 mL para evitar sesgos en los resultados finales incluyendo al control para igualar su volumen. Las soluciones madre se prepararon con ANP, NO_3 y agua destilada, ambas a una concentración de 400 $\mu\text{mol/mL}$. Finalmente, se incubaron a una temperatura de 39°C. Los tratamientos que se evaluaron fueron 0 μmol (controles), 4 μmol de ANP, 8 μmol de NO_3 , 16 μmol de NO_3 y las combinaciones de 4 μmol de ANP con 8 μmol y 16 μmol de NO_3 . Cada tratamiento se evaluó por triplicado. Después de 24 h de incubación, se midió el volumen total de gas mediante el desplazamiento de una jeringa lubricada de 30 cc. La concentración de los gases CH_4 e hidrógeno se midieron por cromatografía de gases (Allison *et al.*, 1992). La concentración inicial y final de ANP, NO_3 y NO_2 obtenidas a las 0 h y 24 h se midieron mediante colorimetría (Cataldo *et al.*, 1975; Majak *et al.*, 1986; Schneider, 1973) así como la concentración de amoníaco (NH_4) (Chaney y Marbach, 1962). Los resultados se presentaron como μmol catabolizados. Los ácidos totales se midieron mediante cromatografía de gases (Lambert y Moss, 1972; Salanitro y Muirhead, 1975) y se expresaron como μmol producidos. Las pruebas de los efectos de los tratamientos se realizaron mediante un análisis de varianza en bloques completamente al azar y para detectar diferencias entre los tratamientos se calcularon las diferencias mínimas significativas (Statistix 10 Analytical Software, Tallahassee, FL, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este experimento se presentan en la tabla 1. En la tabla se observa que la producción de CH_4 disminuye ($P < 0.05$) en todos los tratamientos en > 96% en relación al control. Estos resultados son consistentes con los reportados anteriormente (Anderson y Rasmussen, 1998; Božić *et al.*, 2009) aunque la disminución fue notablemente menor en estos estudios. No se observó efecto ($P > 0.05$) de tratamiento sobre la concentración de hidrógeno, sin embargo la reducción en su concentración en la fase gaseosa fue < 50% en relación al control. Se observó un consumo > 95% de ANP cuando se administró de manera individual, mientras que en aquellos en los que se combinó con NO_3 , se observó una notable disminución en su consumo < 17% en relación al control. Estos resultados sugieren que la reducción microbiana de NO_3 es termodinámicamente más favorable y por lo tanto preferida en relación al ANP. La cantidad de NO_3 administrada a los tratamientos en forma individual o en combinación con ANP fue consumida por los microorganismos ruminales casi en su totalidad (> 95%). Sin embargo, la acumulación de NO_2 en los tratamientos a los que se administró exclusivamente NO_3 y a los que se combinó con ANP osciló entre 3 y 12 $\mu\text{mol/mL}$ las cuales representan 38% y 69% del NO_3 metabolizado, respectivamente. Se conoce que concentraciones de NO_2 mayores a 3 $\mu\text{mol/mL}$ son tóxicas para los microorganismos del rumen tales como las metanogénicas y otras más teniendo como consecuencia una disminución en la fermentación ruminal (Iwamoto *et al.*, 2002). Se observó un efecto ($P < 0.05$) sobre la concentración de ácidos totales, la cual se redujo en 32% con la administración de ANP y hasta 46% en combinación con NO_3 en relación al control. La proporción acetato:propionato se incrementó ($P < 0.05$) hasta 3 veces en relación al control. Este efecto se debe al incremento en la concentración de acetato y a

la disminución de propionato ($P < 0.05$) sin importar la presencia de NO_3 o ANP. La concentración de formato fue de 2 μmol en el tratamiento al que se administraron 16 μmol de NO_3 , sin embargo fue indetectable en los demás tratamientos. El balance de hidrógeno indica que la producción de agentes reductores durante la fermentación ruminal se redujo en todos los tratamientos, aunque este efecto fue mayor en los cultivos co-tratados. A pesar de la disminución en la producción de agentes reductores, una cantidad considerable de estos no se logró estimar en los demás tratamientos, debido a que únicamente se logró detectar hasta un 72% del total de los productos de fermentación. Estos resultados así como las estimaciones estequiométricas de la cantidad de hexosas fermentadas y la eficiencia de la fermentación revelan que la fermentación se inhibió en todos los tratamientos.

Tabla 1. Efecto de la administración individual y combinada de 3-nitro-1-propionato y nitrato sobre las características de fermentación ruminal.

TRATAMIENTOS ^a								
	INDIVIDUAL				COMBINADO CON ANP			
VARIABLE	CONTROL	4 mM NPA	8 mM NO_3	16 mM NO_3	8 mM NO_3	16 mM NO_3	P	EEM
Gas total (mL)	7.7	5.0	5.0	3.7	6.7	5.0	0.1259	1.17
Productos de fermentación ($\mu\text{mol/mL}$)								
H_2	0.22	0.05	0.08	0.10	0.05	0.04	0.2795	0.67
CH_4	19.0 ^c	0.4 ^d	0.7 ^d	0.4 ^d	0.3 ^d	0.3 ^d	<0.0001	1.22
Formato	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	2.3 ^c	<0.1 ^d	2.1 ^c	<0.0001	0.17
Acetato	33.1 ^c	26.3 ^{dc}	27.8 ^d	29.2 ^d	23.7 ^c	22.9 ^c	0.0007	1.41
Propionato	17.9 ^c	11.0 ^d	9.7 ^c	7.5 ^f	6.6 ^f	4.3 ^e	<0.0001	0.39
Butyrato	4.9 ^c	2.1 ^d	1.8 ^{dc}	1.7 ^{dc}	1.5 ^c	0.9 ^f	<0.0001	0.17
Lactato	<0.1 ^f	0.3 ^c	0.3 ^{dc}	0.2 ^{cd}	0.5 ^{cd}	0.6 ^c	<0.0001	0.08
Valerato	0.7 ^c	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.0001	0.07
Isobutirato	0.2 ^c	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	0.0001	0.03
Isovalerato	0.4 ^c	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.1 ^d	<0.0001	0.03
Ácidos totales	57.2 ^c	39.8 ^d	39.7 ^d	40.9 ^d	32.4 ^c	30.9 ^c	<0.0001	1.92
Amoníaco	3.7 ^c	0.9 ^{dc}	1.4 ^d	1.1 ^d	0.7 ^c	<0.1 ^c	0.0004	0.46
Estimación estequiométrica ($\mu\text{mol/mL}$) ^b								
Proporción acetato:propionato	1.8 ^h	2.4 ^e	2.9 ^f	3.9 ^d	3.6 ^c	5.3 ^c	<0.0001	0.10
Hexosas fermentadas	31.1 ^c	20.9 ^d	20.8 ^d	20.1 ^d	16.9 ^c	14.8 ^c	<0.0001	1.02
Hidrógeno producido	109.8 ^c	73.5 ^d	74.5 ^d	76.3 ^d	61.2 ^c	56.5 ^c	<0.0001	3.99
Hidrógeno consumido	124.2 ^c	39.9 ^d	47.8 ^d	49.4 ^d	40.9 ^d	41.1 ^d	<0.0001	5.47
Hidrógeno recuperado (%)	112.8 ^c	54.4 ^c	64.2 ^{dc}	64.8 ^{dc}	67.9 ^d	72.6 ^d	<0.0001	4.57
Eficiencia de fermentación (%)	78.4 ^c	76.0 ^d	74.3 ^c	71.9 ^c	72.5 ^c	69.7 ^c	<0.0001	0.29
Nitrocompuesto metabolizado ($\mu\text{mol/mL}$)								
3-Nitro-1-propionate	---	4.0 ^c	---	---	0.7 ^d	0.8 ^d	0.0002	0.50
Nitrato	---	---	8.0 ^d	15.3 ^c	8.0 ^d	15.8 ^c	<0.0001	0.17
Nitrito	---	---	4.7	4.7	4.5	3.8	0.4695	0.44

^aANP, 3-nitro-1-propionato; NO_3^- , nitrato administrado como sal sódica. Valores promedio ($n = 3$) a partir de un análisis de varianza completamente aleatorizado.

^b Los cálculos estequiométricos se realizaron de acuerdo a lo reportado por Božić et al. (2009).

^c Los promedios dentro de las filas con superíndices distintos difieren en función de la comparación de medias DMS a partir de un análisis de varianza completamente aleatorizado ($P < 0.05$).

CONCLUSIÓN

La administración individual o combinada de NO₃ y ANP en los cultivos ruminales redujo sorprendentemente la producción de CH₄. Sin embargo, la administración de estos nitrocompuestos también redujo el proceso de fermentación ruminal, lo cual podría comprometer la fermentación en el rumiante. Estos resultados servirán como fundamento para continuar con las investigaciones respecto a los efectos de inhibición de nitrocompuestos sobre la metanogénesis ruminal con el fin de identificar aditivos alimenticios capaces de reducir la producción de CH₄ ruminal sin causar efectos adversos a la digestibilidad de la materia seca en el rumiante.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece ampliamente a CONACYT por el apoyo económico que Alejandro Castañeda Correa recibió para realizar la estancia de investigación en USDA/ARS Southern Plains Agricultural Research Center en College Station, Texas, EUA.

REFERENCIAS

Allison, MJ, Mayberry, WR, McSweeney, CS, Stahl, DA. 1992. *Synergistes jonesii*, gen. nov., sp. nov.: a ruminal bacterium that degrades toxic pyridinediols. *Systematic and Applied Microbiology*. 15, 522-529.

Anderson, RC, Callaway, TR, Van Kessel, JS, Jung, YS, Edrington, TS, Nisbet, DJ. 2003. Effect of select nitrocompounds on ruminal fermentation; an initial look at their potential to reduce economic and environmental costs associated with ruminal methanogenesis. *Bioresource Technology*. 90, 59-63.

Anderson, RC, Carstens, GE, Miller, RK, Callaway, TR, Schultz, CL, Edrington, TS, Harvey, RB, Nisbet, DJ. 2006. Effect of oral nitroethane and 2-nitropropanol administration on methane-producing activity and volatile fatty acid production in the ovine rumen. *Bioresource Technology*. 97, 2421-2426.

Anderson, RC, Rasmussen, MA. 1998. Use of a novel nitrotoxin-metabolizing bacterium to reduce ruminal methane production. *Bioresource Technology*. 64, 89-95.

Božić, AK, Anderson, RC, Carstens, GE, Ricke, SC, Callaway, TR, Yokoyama, MT, Wang, JK, Nisbet, DJ. 2009. Effects of the methane-inhibitors nitrate, nitroethane, lauric acid, Lauricidin® and the Hawaiian marine algae, *Chaetoceros*, on ruminal fermentation in vitro. *Bioresource Technology*. 100, 4017-4025.

Burns, JC, Cope, WA, Barrick, and ER. 1977. Cow and calf performance, per hectare productivity, and persistence of Crownvetch under grazing. *Agronomy Journal*. 69, 77-81.

Cataldo, DA, Haroon, M, Schrader, LE, Youngs, VL. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communication Soil Science Plant Analysis*. 6, 71-80.

Chaney, AL, Marbach, EP. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry*. 8, 130-132.

EPA, 2006. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. USEPA #430-R-06-002.

Gutierrez-Bañuelos, H, Anderson, RC, Carstens, GE, Slay, LJ, RamLachan, N, Horrocks, SM, Callaway, TR, Edrington, TS, Nisbet, DJ. 2007. Zoonotic bacterial populations, gut fermentation characteristics and methane production in feedlot steers during oral nitroethane treatment and after the feeding of an experimental chlorate product. *Anaerobe*. 13, 21-31.

Gutierrez-Bañuelos, H., Anderson, RC, Carstens, GE, Tedeschi, LO, Pinchak, WE, Cabrera-Díaz, E, Krueger, NA, Callaway, TR, Nisbet, DJ. 2008. Effects of nitroethane and monensin on ruminal fluid fermentation characteristics and nitrocompound-

metabolizing bacterial populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56, 4650-4658.

Iwamoto, M, Asanuma, N, Hino, T. 2002. Ability of *Selenomonas ruminantium*, *Veillonella parvula*, and *Wolinella succinogenes* to reduce nitrate and nitrite with special reference to the suppression of ruminal methanogenesis. *Anaerobe*. 8, 209-215.

Johnson, KA, Johnson, DE. 1995. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*. 73, 2483-2492.

Lambert, MA, Moss, CW. 1972. Preparation and analysis of the butyl esters of short-chain volatile and non-volatile fatty acids. *Advances in Chromatography*. 74, 335-338.

Majak, W, Cheng, K-J., Hall, JW. 1986. Enhanced degradation of 3-nitropropanol by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science*. 62, 1072-1080.

Marais, JP, Therion, JJ, Macie, RI, Kistner, A, Dennison, C. 1988. Effect of nitrate and its reduction products on the growth and activity of the rumen microbial population. *British Journal of Nutrition*. 59, 301-313.

Salanitro, JP, Muirhead, PA. 1975. Quantitative method for the gas chromatographic analysis of short-chain monocarboxylic and dicarboxylic acids in fermentation media. *Applied Microbiology*. 29, 374-381.

Schneider, NR, Yeary, RA. 1973. Measurement of nitrite and nitrate in blood. *American Journal of Veterinary Research*. 34, 133-135.

Efectos de Diferentes Dosis de Oxitocina sobre Producción de Leche en Vacas F1 (HxC) en el Trópico

Resumen

El crecimiento demográfico a nivel mundial trajo consigo un aumento en la demanda de productos de la canasta familiar; para estos se deben de cumplir estándares de calidad basados en la inocuidad y aporte nutricional de los mismos. Los sistemas de producción en trópico necesitan de la aplicación de tecnologías; como el establecimiento de cruces genéticos (F1) entre las líneas *Bos taurus* y *Bos indicus*, para hacerlos más eficientes en los estándares de producción. La influencia *Bos indicus* en las vacas dificulta el ordeño sin presencia de la cría; adicionalmente, el amamantamiento repercute en baja eficiencia reproductiva. Como alternativa, para reducir el anestro posparto y lograr el ordeño completo sin apoyo del becerro, se ha usado la inyección diaria de oxitocina, a tal grado que se ha convertido en una práctica cada vez más utilizada en los ordeños en las zonas tropicales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de oxitocina en la producción de leche de vacas F1 (Holstein x Cebú). Se utilizaron 48 vacas en ordeño, divididas aleatoriamente en cuatro grupos. Se aplicaron 4 tratamientos diferentes: NA = No aplicación de oxitocina; SS = Solución salina (1 ml); OX*1= Oxitocina 20 U.I.; OX*2 = Oxitocina 40 U.I.. Se utilizó un análisis de varianza con un diseño de cuadrado latino, balanceado por edad y días en lactancia. La producción de leche promedio fue significativamente mayor ($P<0.0001$) en el Grupo OX*2 ($7.98\pm0.15\text{kg}$), respecto a los grupos OX*1 ($6.44\pm0.15\text{kg}$), SS ($6.12\pm0.15\text{kg}$) y NA ($6.09\pm0.29\text{kg}$), entre los cuales la diferencia no fue estadísticamente significativa ($P<0.05$). No hubo efecto residual significativo por efectos del tratamiento ($P<0.6$); así como tampoco los días en lactancia afectaron la producción de leche significativamente ($P<0.05$). Se concluye que el uso de la oxitocina en las condiciones del presente trabajo, mejora la producción cuando se inyectan 40 U.I. por vaca/día. Se requiere de estudios encaminados a esclarecer si la inyección diaria de oxitocina podría prolongar la lactancia y su posible papel en disminuir la incidencia de mastitis.

Introducción

La producción de leche a nivel mundial va en aumento buscando satisfacer las metas y los objetivos de las instituciones mundiales en donde sobresalen como principales ideas el proporcionar a la población mundial alimentos de un alto valor nutricional e inocuos y que los sistemas y formas de producción sean amigables con el medio ambiente. Los sistemas productivos en trópico son poco eficientes por lo que es importante la búsqueda y la implementación de tecnologías que los hagan eficientes y sustentables con el medio ambiente (OECD/FAO, 2016).

Un sistema de producción de leche está compuesto por un número de factores entre los que se encuentran la composición genética del hato, la nutrición, la salud y la reproducción; además, el medio ambiente. Todos estos factores deben estar orquestados para que se lleve a cabo la producción de leche. No obstante, la composición genética en los hatos lecheros del trópico, mantienen una proporción *Bos indicus* como una medida para la resistencia a las condiciones climatológicas en donde prevalecen las altas temperaturas ambientales y la elevada humedad relativa. Sin embargo, el ganado cebú no solo hereda características deseables a su descendencia, sino que también transmite algunas otras, tales como el carácter materno que impide el bajado de la leche sin la presencia de la cría. El amamantamiento es una de las prácticas más comunes de crianza de becerros en las zonas tropicales; pero también, es bien conocido su efecto negativo sobre el reinicio de la actividad ovárica posparto, que repercute en largos periodos de anestro y baja eficiencia reproductiva. Como alternativa, para poder realizar el ordeño sin becerro, propiciar el reinicio de la actividad ovárica posparto y lograr la cosecha completa de la leche, se ha implementado la inyección de oxitocina.

La oxitocina es la hormona involucrada en el proceso del bajado de la leche, se sintetiza en el hipotálamo, se almacena en la neurohipófisis y que en respuesta a un arco reflejo iniciado al estimular el pezón de la teta, se descarga a la circulación hasta llegar a las células mioepiteliales que rodean los ácinos glandulares induciendo su contracción y expulsando el contenido lácteo. Por tanto, la leche fluye de los grandes conductos mamarios a la cisterna de la glándula y de ahí a los pezones (Belo &

La oxitocina es una hormona con una vida media de acción corta de 1 minuto y lenta de 2 a 3 minutos. Los efectos oxitócicos dentro del individuo se dividen en: Acción sobre la síntesis neurohipofisaria y en acción en tejidos diana periféricos (Palomera, 2006). Las concentraciones circulantes de oxitocina en vacas lecheras, depende del estímulo al que se someten: las que amamantan alcanzan niveles mayores que las solo ordeñadas a mano y éstas, que las ordeñadas mecánicamente. Las vacas que reciben alimento durante el ordeño muestran concentraciones circulantes de oxitocina mayores que las que no lo reciben (Padilla, 2011; Lollivier *et al.*, 2005).

La información más reciente indica que al mejorar la extracción de leche e incrementar la frecuencia del ordeño, no solo aumenta la producción por vaca/lactancia por el simple efecto mecánico del vaciado de la ubre sino que, además, la oxitocina propicia el mantenimiento del epitelio secretor. Los mecanismos de autorregulación de la glándula mamaria, para ajustar la producción de leche a las demandas de las crías, se ha asociado con una glicoproteína que es cosecretada con la leche y que aparentemente ejerce un efecto local, a nivel del alveolo, para reducir la síntesis de lactosa y de las proteínas de la leche (Lollivier *et al.*, 2005).

Es por ello que, una evacuación incompleta o con poca frecuencia de la ubre, repercutirá en menor producción de leche y, por el contrario, la extracción completa de la leche de la ubre, estimulará física y químicamente mayor producción de leche. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de oxitocina sobre la producción de leche de vacas F1 (Holstein x Cebú).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el módulo de producción bovina de doble propósito del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Autónoma de México (UNAM), ubicado en el municipio de Tlapacoyan, en el estado de Veracruz, a una altitud de 151 msnm.

Se utilizaron 48 vacas multíparas en lactación divididas aleatoriamente en cuatro grupos homogéneos (balanceados por edad) de 12 animales cada uno y se asignaron a diferentes tratamientos de oxitocina: NA = No aplicación de oxitocina; SS = Solución salina (1 ml); OX*1 = oxitocina 20 U.I.; OX*2 = Oxitocina 40 U.I. Se utilizó un análisis de varianza para un diseño de cuadrado latino, balanceado por edad y para estimar efectos residuales del tratamiento y días en lactancia. El experimento tuvo una duración de ocho semanas, con cuatro periodos, cuatro secuencias y cuatro tratamientos.

Las vacas utilizadas en el experimento, fueron alimentadas en pastoreo rotacional, en 20 ha divididas en 18 potreros (2 días de ocupación y 30 días de recuperación), manteniendo una carga animal promedio de 2.5 UA/ha. Las praderas estuvieron conformadas por pastos nativos (*Axonopus spp*, *Paspalum spp*), e introducidos (*Panicum máximum*, *Cynodon plestostachyus*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria humidicola*, *Pennsetum purpureum*, Mulato (*Brachiaria brizantha* x *Brachiaria rusienzis*), *Archis pinto* y *Desmodium triflorum*, en distintas proporciones. Durante el ordeño, las vacas recibieron un complemento alimenticio a base de concentrado comercial (20% de proteína cruda) a razón de 1 kg vaca/día, así como agua y sales minerales *ad libitum*. El manejo reproductivo fue en empadre estacional con inseminación artificial, dos temporadas de 60 días cada una: empadre de invierno (enero-febrero) y empadre de verano (agosto-septiembre); consecuentemente y las novillas se exponen por primera vez a los 350 kg de peso corporal; las temporadas de parición correspondientes fueron: noviembre-diciembre y mayo-junio, respectivamente. Las vacas estuvieron clínicamente sanas, con una condición corporal dentro de un rango de 2.5 a 3 (escala 1-5).

Resultados

Se obtuvieron 192 observaciones con un coeficiente de varianza de 15.60 y una producción de leche promedio diaria de 6.74 kg. De acuerdo con el análisis de varianza de los cuadrados mínimos, la producción de leche promedio fue significativamente mayor ($P<0.0001$) en el Grupo OX*2 ($7.98\pm0.15\text{kg}$), respecto a los grupos OX*1 ($6.44\pm0.15\text{kg}$), SS ($6.12\pm0.15\text{kg}$) y NA ($6.09\pm0.29\text{kg}$), entre los cuales la diferencia no fue estadísticamente significativa ($P>0.05$). No hubo efecto residual significativo del tratamiento ($P<0.6$); así como tampoco de los días en lactancia sobre la producción de leche ($P<0.05$).

En la Figura 1 se muestra el promedio de producción de leche/vaca/día en función al tratamiento. Como es evidente, los grupos que no recibió oxitocina (NA y SS) obtuvieron los menores promedios de producción por vaca/día, en comparación con los grupos que sí la recibieron (OX*1 y OX*2).

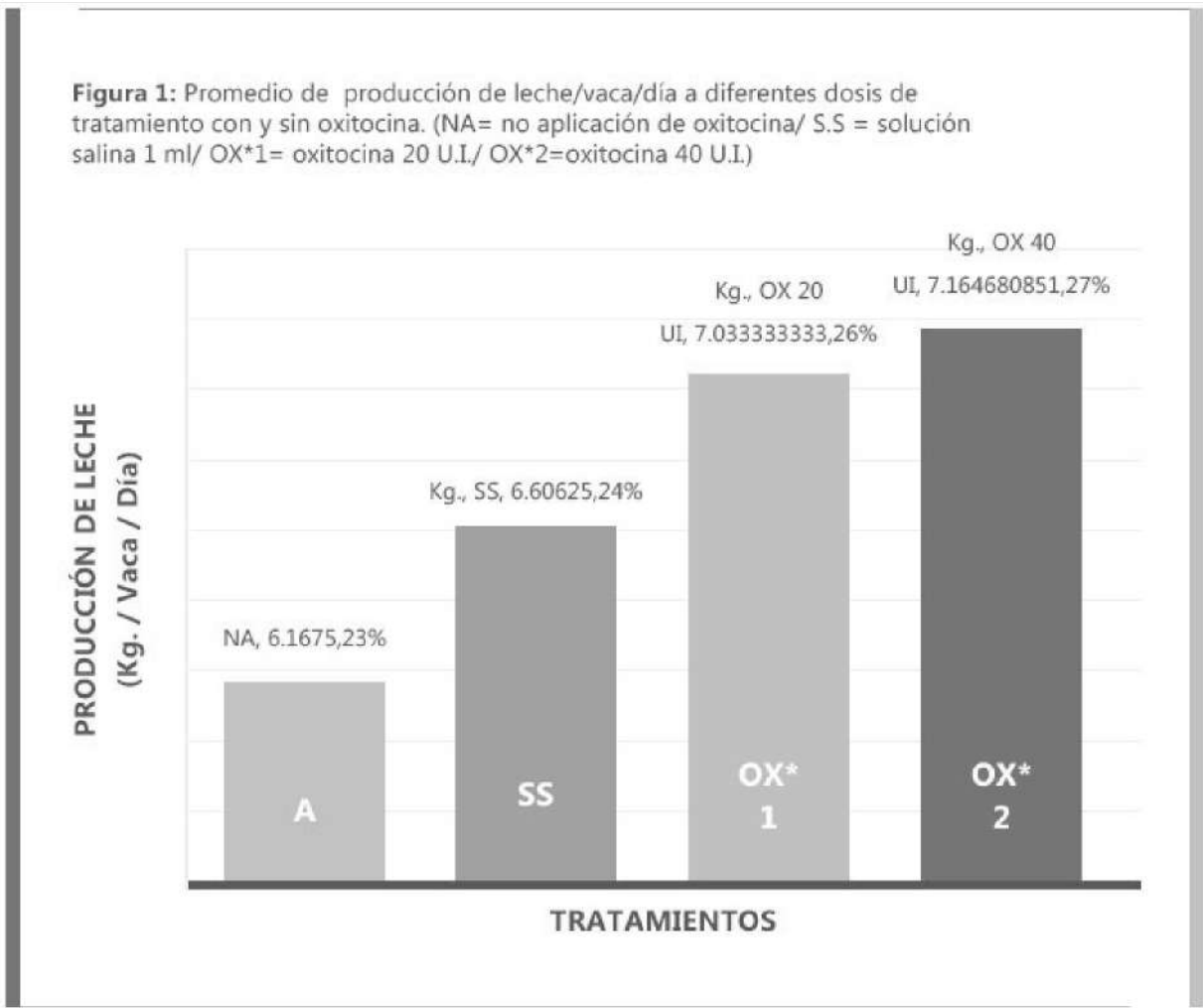


Figura 1: Promedio de producción de leche/vaca/día a diferentes dosis de tratamiento con y sin oxitocina. (NA= no aplicación de oxitocina/ S.S = solución salina 1 ml/ OX*1= oxitocina 20 U.I./ OX*2=oxitocina 40 U.I.).

Discusión

Los sistemas de producción de leche en trópico con vacas especializadas y la producción de leche por vacas híbridas, como las F1 (Holstein x Cebú), tiene herencia hacia alta producción por las líneas europeas (*Bos Taurus*); mientras que, la herencia de la línea cebuina (*Bos indicus*), resulta necesaria por la tolerancia a las condiciones climatológicas del trópico; sin embargo, dificulta el manejo y el ordeño por factores temperamento nervioso y carácter materno muy acentuados.

Según los hallazgos se encontró un aumento en la producción de leche debido a la aplicación de oxitocina 1 ml contra la no aplicación, teniendo una diferencia altamente significativa; en estos casos se puede correlacionar con lo reportado por (Ramírez, 2009) donde obtuvo una lactancia mayor de las vacas tratadas con oxitocina contra el grupo testigo, al igual que la producción total de leche y la producción diaria de leche fueron mayores; esos datos también coinciden con lo descrito en otros trabajos (Luna *et al.*, 2007). Este último autor, en su estudio de caso encontró un aumento en la cosecha de la leche con diferencia altamente significativa entre los animales con aplicación de oxitocina contra los que no la tuvieron. Congruente con (Saharrea y Basurto, 2012), afirmó que la producción total de leche por lactancia fue mayor, al igual que la producción diaria de leche y que la duración de la lactancia fue mayor; lo que coincide con lo inferido del anterior trabajo que dentro de este encontraron animales por encima de los 280 días de lactancia mucho mayor que lo registrado por (Pulido, 2010).

Se determina que el aumento de producción de leche se debe a una mejor eyección causada por la oxitocina (Román, 1981; Graf, 1969; Bruckmaier, 2005); otro efecto adicional de la oxitocina sobre la glándula mamaria propicia la síntesis de la proteína principal de la leche la caseína (Lollivier *et al.*, 2005).

Los diferentes efectos que tiene la oxitocina en la glándula mamaria se deben a su acción en las células mioepiteliales, aumentando sus contracciones y permitiendo el transporte activo de la leche alveolar y de los conductos alveolares a la cisterna. Se ha determinado que dentro de la cisterna de la glándula mamaria de los bovinos se alberga alrededor del 20% del total de la leche sintetizada (Svennersten & Olsson, 2005) de la célula donde aumenta los iones de calcio los cuales activan las reacciones enzimáticas de la célula, este aumento permite promover la transcripción genética y la síntesis de la proteína caseína (Lollivier *et al.*, 2005).

Dentro de los usos de oxitocina en animales en lactancia esta posee beneficios como los son el vaciado de las células epiteliales mamarias podría evitar retroalimentación negativa, de la acumulación de componentes de la leche y/o poder estimular la síntesis de nueva proteína de la leche (Lollivier *et al.*, 2005)., la oxitocina tiene beneficios anti-apoptótico en las células de la glándula mamaria esto permitiendo que la lactancia sea mucho mayor en cuanto a la duración por estimulación del animal. Además de contribuir a una baja incidencia de mastitis por efectos de mal vaciado de la ubre (Linzell & Peaker, 1971).

Conclusiones

Se concluye que el uso de la oxitocina en dosis de 40 U.I. por vaca/día, en las condiciones del presente trabajo, mejora la producción de leche y en consecuencia la rentabilidad del ordeño permitiendo con este tipo de producciones de tipo especializado pueda obtener productos con mejor inocuidad y calidad nutricional para ser más competitivos a nivel del mercado global. Se requiere de estudios encaminados a esclarecer si la inyección diaria de oxitocina podría prolongar la lactancia y su posible papel en la disminución de la mastitis.

Literatura Citada

- Belo CJ. Bruckmaier RM. (2010). *Suitability of low-dosage oxytocin treatment to induce milk ejection in dairy cows*. Journal of Dairy Science. 93 (1). pp. 63-69.
- Bruckmaier RM. (2005). *Normal and disturbed milk ejection in dairy cows*. Domestic Animal Endocrinology. 29. pp. 268-273.
- Graf GC. (1969). *Ejection of milk in relation to levels oxytocin injected Intramuscularly*. Journal of Dairy Science. 52 (7). pp. 1003-1007.
- Linzell JL. Peaker M. (1971). *The effects of oxytocin on milk removal on milk secretion in the goat*. The Journal Physiology. 216 (3). pp. 717-734.
- Lollivier V. Guy MP. Ollivier BM. (2005). *La oxitocina estimula los procesos secretores en células epiteliales mamarias de conejo lactante*. The Journal of Physiology. pp. 125-140.
- Luna PC. Ramírez GJA. Rodríguez AFA. (2007). *Producción de leche en vacas de doble propósito tratadas con oxitocina bajo condiciones de trópico húmedo mexicano*. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15 (1). pp. 15-24..
- OECD/FAO. (2016). *OECD-FAO Perspectivas Agrícolas 2016-2015*. OECD Publishing. pp. 1-146.
- Padilla EM. (2011). *Fisiología de la oxitocina en bovinos*. Tesis. Universidad Autónoma de México.
- Palomera C. (2006). *Efecto de la oxitocina sobre el comportamiento reproductivo y productivo en bovinos de doble propósito*. Tesis. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Pulido A F. (2010). *Factores que influyen en la curva de lactancia en vacas F1 (Holstein x Cebú) en el trópico húmedo Veracruz, México*. Tesis. Universidad Veracruzana.
- Ramírez CF. (2009). *Estudio Retrospectivo de la Producción de Leche en Vacas (Holstein X Cebú), con y sin Tratamiento de Oxitocina en el Trópico*. Tesis de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, FMVZ-UNAM, México.
- Román PH. (1981). *Potencial de Producción de los Bovinos en el Trópico de México*. Ciencia Veterinaria. 3. pp. 394-431.
- Saharrea MA. Basurto CH. (2012). *Efectos de la oxitocina sobre reproducción y producción de leche en vacas de doble propósito en el trópico*. Cebú México.

Svennersten-Sjaunja K. Olsson K. (2005). *Endocrinology of milk production*. Domestic Animal Endocrinology. 29 (2). pp. 241-258.

Marcadores genéticos SNP: una herramienta biotecnológica para el estudio, manejo y mejoramiento de poblaciones de ganado bovino

El concepto de marcador genético es un término muy utilizado por la comunidad científica para referirse al uso de una herramienta biotecnológica empleada para el estudio de diferentes especies animales, vegetales y otros organismos. Aunque este concepto ya ha comenzado a utilizarse por la comunidad de productores y criadores es importante continuar su divulgación para esclarecer los alcances de esta herramienta en el estudio, manejo y mejoramiento de especies de importancia doméstica. Para iniciar comenzaremos por explicar de manera general el origen de los marcadores genéticos para luego enfocarnos únicamente en un tipo especial de marcadores denominados SNP y vislumbrar sus diferentes aplicaciones en el campo de la biotecnología animal.

A lo largo del ADN de todas las especies existen muchos cambios (mutaciones) que alteran su secuencia (nucleotídica). Aunque la mayoría de estas mutaciones no genera ningún efecto letal sobre los animales son estas mismas las que hacen que cada animal sea genética y físicamente diferente. Siempre y cuando las mutaciones sean representativas en la población, estas pueden ser utilizadas como marcadores genéticos, es decir, como marcas en el ADN que posiblemente indican algún suceso, por ejemplo, relacionado con la adaptación al ambiente, selección genética, diferenciación poblacional, etc. Existen varios tipos de mutaciones que ocurren con diferente frecuencia en el ADN pero la más común es la de tipo puntual. Este tipo de mutación, también conocido como SNP, es un tipo de cambio genético simple pero muy frecuente en la secuencia del ADN que solo posee dos variantes (alelos) cuya combinación solo permite la presencia de tres tipos genéticamente distintos (genotipos), es decir, en un SNP un animal solo puede presentar uno de tres genotipos posibles. Por ejemplo, para un SNP cuyos alelos son G y A solo habrá animales con genotipos G/G, G/A o A/A. Debido a la herencia, el genotipo de un animal siempre estará determinado por el genotipo de sus padres, esto es, en cada SNP uno de los alelos vendrá del padre y el otro de la madre. Por ejemplo, si un semental presenta el genotipo G/G y una madre presenta el genotipo A/A, la cría de estos animales forzosamente presentará el genotipo G/A, el cual es la combinación de los alelos que fueron heredados de los parentales. Debido a la simplicidad de este tipo de marcadores aunado con su alta frecuencia de aparición en el ADN de todas las especies estos marcadores se han convertido en la herramienta más utilizada en estudios genéticos.

Actualmente, en muchos estudios se utilizan paneles de SNP que son tecnologías que permiten evaluar miles de marcadores genéticos en el ADN (genotipificación masiva). Estos paneles son utilizados con el objetivo de escanear todo el ADN de especies de importancia doméstica e identificar los sitios del ADN relacionados con algún suceso de interés. Su uso en estudios genómicos ha permitido evaluar aspectos como son la identificación de regiones del ADN que influyen características productivas o relacionadas a la selección fenotípica (señales de selección), estimación de valores genéticos (selección genómica), evaluación de pedigrís, asignación de paternidad, detección y diagnóstico de enfermedades genéticas, evaluación de endogamia, predicción de genotipos (imputación), identificación de poblaciones genéticamente diferenciadas (estructura genética), entre otras aplicaciones. A continuación, se describen algunos ejemplos del uso de paneles de marcadores SNP en el estudio de poblaciones de ganado bovino de México.

Búsqueda de regiones del ADN relacionadas con características productivas

En bovinos y otras especies de importancia doméstica, la variación en las características físicas entre los animales es resultado de la influencia de diversos factores como son la alimentación y manejo en cada hato, el dimorfismo sexual, la salud animal, etc., pero también debido a factores genéticos heredables que determinan la predisposición a expresar en mayor o menor grado una o varias características, por ejemplo, mayor ganancia de peso o incluso manifestar alguna enfermedad genética. Específicamente, la predisposición genética, o también conocida como el efecto de los genes sobre características de importancia, ha sido ampliamente estudiada en investigación animal mediante el uso de marcadores genéticos.

Uno de los primeros estudios genómicos realizados en ganado bovino de México logró identificar regiones en el ADN que tienen efecto sobre características de crecimiento en la raza Charolais (Jahuey-Martínez *et al.* 2016). En este estudio se utilizó un panel de 80 mil SNP y una población de 823 animales. Un ejemplo de los resultados de este estudio fue el SNP rs42512403 localizado en el cromosoma 15 bovino el cual estuvo estadísticamente muy asociado con el peso al nacimiento. En la figura 1A se muestran los valores de peso al nacimiento en cada una de las tres clases genotípicas para este SNP en la población de estudio. Las variantes de este SNP fueron los alelos G y A, los animales con genotipo A/A pesaron en promedio 38 kg, mientras que los animales con genotipos G/A y G/G pesaron 40 y 42 kg, respectivamente. Esto significa que el alelo A del SNP rs42512403 predispone a los animales a presentar menor peso al nacimiento. En otras palabras, un animal que posee genotipo A/A o G/A pesa 4 o 2 kg menos al nacimiento con respecto a los animales con genotipo G/G.

Este tipo de hallazgos resulta de gran importancia ya que al conocer el efecto de un marcador genético sobre una característica productiva, el marcador puede ser utilizado como un indicador para seleccionar animales, por ejemplo, con menor peso al nacimiento. Sin embargo, esto no significa que el SNP rs42512403 sea la mutación que causa la diferencia en el peso al nacimiento de los animales, sino que, su asociación estadística se debe a que posiblemente este marcador se localiza cerca de otra mutación en el ADN que verdaderamente provoca el cambio fenotípico entre los animales. Debido a esto, un marcador como el SNP rs42512403 aunque podría ser utilizado como un indicador de selección su utilidad disminuiría con el paso de algunas generaciones debido a que posiblemente se perdería su asociación con la mutación causal y por consecuencia también con la característica productiva. Por esto, es importante que después de realizar un estudio genómico preliminar como el citado anteriormente se continúe con la realización de estudios adicionales ahora enfocados solamente en las regiones del ADN de mayor interés para lograr identificar y validar las mutaciones causales. Por supuesto que, entre mayor sea el número de estudios científicos que reporten el efecto significativo de un marcador genético mayor será la confiabilidad al utilizar dicho marcador como un indicador de selección.

Búsqueda de regiones del ADN relacionadas a la selección animal

Las poblaciones de ganado han estado sujetas a la selección artificial durante muchos años por parte de los criadores. Esta selección ha consistido en elegir animales de mayor gusto visual, racial, o bien, mayor mérito genético y/o productivo. Directa o indirectamente, esta selección hacia una o varias características de importancia productiva conduce también a la selección de regiones en el ADN asociadas a dichas características y también de regiones cercanas (arrastre por ligamiento) generando patrones en el ADN conocidas como señales de selección y que se caracterizan por presentar correlación alélica extendida.

Para identificar señales de selección en el ADN de bovinos Charolais, se utilizó una población de 119 animales representando un hato del noroeste de México en el cual se seleccionan animales con pesos bajos al nacimiento pero pesos altos al posdestete (Parra-Bracamonte *et al.* 2016). La selección artificial en este hato se relaciona con uno de los objetivos de cría el cual es producir animales más pesados y reducir la incidencia de dificultades al parto. Mediante esta selección, la población de ganado Charolais del noroeste ha logrado diferenciarse de las poblaciones del noreste en cuanto al peso corporal de los animales. Para mostrar esta diferencia, se graficó la relación fenotípica del peso al año con respecto al peso al nacimiento en la población noroeste y noreste (figura 1B). Los animales del noroeste pesan en promedio 34 kg al nacimiento y alcanzan alrededor de 500 kg al año de edad. En contraste, los animales del noreste aunque alcanzan también dicho peso al año presentan mayor peso al nacimiento.

Al utilizar la información del panel de marcadores SNP para buscar patrones de correlación alélica en la población noroeste, se lograron identificar algunas regiones del ADN siendo la más significativa la región localizada en el cromosoma 23 (figura 1C). Debido a que en esta población solo se ha realizado selección hacia pesos corporales, este resultado es un indicador de la presencia de genes relacionados con la variación tanto en el peso al nacimiento y el peso post destete.

Estimación de valores genéticos

Una actividad determinante para el mejoramiento genético del ganado es la realización de evaluaciones genéticas. Esta actividad es tan importante debido a que a partir de ellas se generan los valores genéticos, los cuales son una estimación del mérito productivo de un animal para una o varias características productivas y que ayudan a los productores a tomar decisiones de selección.

Un factor muy importante en las evaluaciones genéticas es la exactitud de estimación ya que este indicador determina la confiabilidad de utilizar un valor genético para seleccionar un animal. Debido a que en una evaluación genética, los valores son estimados a partir de registros fenotípicos y genealógicos disponibles, la exactitud de estimación está determinada por el número de registros de cada animal e incrementa a medida que aumenta el número de crías con registros por animal. Sin embargo, una de las dificultades en las evaluaciones genéticas de bovinos de carne es que solo un número reducido de animales (sementales) logran tener gran descendencia y por lo tanto solo estos logran tener valores genéticos con alta exactitud (mayor a 0.9) mientras que las estimaciones del resto de los animales son menos exactas (menor a 0.6).

En 2001, Meuwissen *et al.* (2001) propuso utilizar la información de marcadores genéticos para incrementar la exactitud en la estimación de valores genéticos. Su metodología consistió en conocer el efecto de uno de los alelos en cada SNP y simplemente multiplicar dicho efecto por el genotipo de un animal. Por ejemplo, tomando en cuenta que el efecto estimado del alelo A para el SNP rs42512403 fue de 2 kg, un animal que posee dos alelos A, tendría un valor de 4 para este SNP, mientras que los animales con genotipos G/A y G/G (con 1 y 0 alelos A) tendrían un valor de 2 y 0, respectivamente. De esta manera, el valor total o ?genómico? de un animal es calculado como la sumatoria de su valor genético en cada SNP evaluado. El paso crucial de esta metodología es conocer el efecto de cada SNP sobre la característica de interés y por lo tanto estos deben ser estimados en una población de referencia lo suficientemente grande constituida preferentemente por sementales con gran número de prole, valores genéticos de alta exactitud e información de miles de marcadores genéticos.

Actualmente, esta metodología, conocida como selección genómica, ya es implementada en países como Estados Unidos, Australia, Francia y Canadá donde se cuenta con miles de sementales utilizados como referencia. En nuestro país, esta metodología podría implementarse una vez que aumente el número de registros tanto fenotípicos como genealógicos y sea posible identificar sementales con la suficiente información para construir una población de referencia. Es muy importante mencionar que, para una aplicación efectiva de la selección genómica, cualquier esfuerzo de genotipificación de animales no tendría ninguna ventaja si no se cuenta con sus registros y mucho menos sin una población de referencia.

Predicción de genotipos

Una de las metodologías utilizadas para incrementar el número de animales o el número de marcadores genéticos, y/o reducir la inversión del costo de genotipificación en estudios genómicos es mediante la imputación de genotipos. Esta metodología consiste en predecir el genotipo parcial o total de un animal a partir del genotipo de varios de sus descendientes.

La imputación puede adecuarse a diferentes escenarios dependiendo del problema en cuestión. Por ejemplo, al genotipificar una proporción de animales con 50 mil SNP y el resto con 3 mil SNP, es posible asignar los 47 mil genotipos faltantes en los animales genotipificados con el panel de menor densidad mediante un procedimiento de imputación partiendo de los SNP en común entre ambos paneles de marcadores. Este procedimiento de imputación puede realizarse utilizando o no las relaciones genéticas de la población. Por otro lado, también es posible predecir con alta exactitud el genotipo de animales que no tienen información de ningún marcador pero que poseen crías genotipificadas. Para explicar este último escenario, tomaremos como ejemplo nuevamente al SNP rs42512403 y describiremos el fundamento de la imputación basado en homocigotos opuestos. Para el SNP rs42512403, el genotipo de un semental sería G/A si entre sus crías existieran animales con genotipos G/G y A/A, es decir, con genotipos homocigotos opuestos. En este caso, el genotipo heterocigoto del semental fue fácilmente predicho debido a que se sabe que parte de su descendencia heredó el alelo G y otra parte heredó el alelo A. Aplicando la metodología de homocigotos opuestos en los datos de ganado Charolais, se logró predecir el genotipo de 66 sementales no genotipificados. En la figura 1D se muestra la proporción de genotipos imputados de un total de 70 mil SNP. La exactitud de predicción (calculada en base a la comparación con el genotipo real de 8 sementales) indicó que el genotipo de un semental puede ser imputado de manera exacta hasta 66 mil SNP teniendo al menos 15 crías genotipificadas.

Inferencia y evaluación del pedigrí

La información genealógica es de gran importancia en las evaluaciones genéticas ya que se sabe que la calidad del pedigrí influye significativamente en la correcta estimación de los valores genéticos. Mediante los marcadores SNP es posible evaluar la calidad de un pedigrí o incluso inferirlo cuando no se cuenta con los datos genealógicos. Para mostrar la utilidad de los marcadores SNP en la reconstrucción de pedigrís, se utilizó la información genómica de 320 crías para inferir su relación paterna y definir grupos familiares. El pedigrí real de estas crías fue utilizado para comparación y consiste de 13 familias de medios hermanos paternos. El análisis fue realizado en base a una matriz del número homocigotos opuestos y a un número definido de recombinaciones posibles en cada familia. Las crías que presentan menor número de homocigotos opuestos entre

sí tienden a agruparse dentro de una misma familia. Las crías fueron descartadas de un grupo familiar si presentaban más de 14 recombinaciones en el cromosoma 1.

De acuerdo con el resultado (figura 1E) los grupos familiares inferidos en base a los marcadores SNP (columna vertical) reflejan casi por completo la agrupación real de las familias (columna horizontal). En este análisis, 320 (97.5%) crías fueron asignadas correctamente a sus grupos familiares lo que significa que el panel de 66 mil SNP fue capaz de reproducir el pedigrí real con gran exactitud. El resto de los animales fueron asignados a grupos familiares distintos o bien no se encontró ninguna relación con las familias representadas en los datos lo cual puede ser debido a diferentes factores como una mala calidad de los datos genotípicos para dichas muestras, error en la identificación animal al momento del muestreo o en el laboratorio, error del pedigrí o bien una asignación paterna equivocada.

Para la evaluación de otras aplicaciones se requiere de análisis estadísticos, estructura de datos y fundamentos teóricos distintos por lo que es difícil abordar cada una de ellas en este artículo. Además, en algunos casos se necesita de información adicional, por ejemplo, para la detección de enfermedades genéticas se requiere contar con los registros y muestras biológicas de animales enfermos para realizar estudios enfocados a la identificación de marcadores SNP asociados a la enfermedad o bien para estudiar su transmisión a lo largo del pedigrí.

En conclusión, hemos demostrado que los marcadores SNP pueden ser utilizados para diferentes aplicaciones y resolver diferentes problemáticas. Sin duda, estos marcadores genéticos son una herramienta biotecnológica muy eficaz que puede ser utilizada para el estudio, manejo y mejoramiento de poblaciones de especies de importancia doméstica.

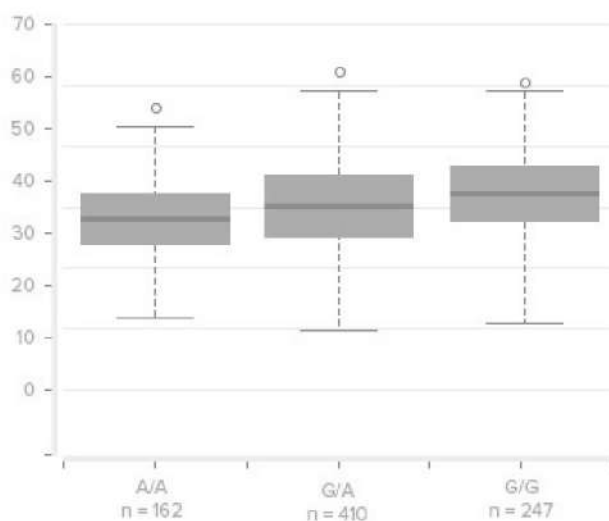
Literatura citada

Jahuey-Martínez FJ, Parra-Bracamonte GM, Sifuentes-Rincón AM, Martínez-González JC, Gondro C, García-Pérez CA, López-Bustamante LA. Genomewide association analysis of growth traits in Charolais beef cattle. *Journal of Animal Science*. 2016. 94(11):4570-4582. doi: 10.2527/jas.2016-0359.

Parra-Bracamonte GM, Lopez-Villalobos N, Morris ST, Sifuentes-Rincón AM, Lopez-Bustamante LA. 2016. Genetic trends for live weight traits reflect breeding strategies in registered Charolais Farms in Mexico. *Trop Anim Health Prod*. 48:1729-38.

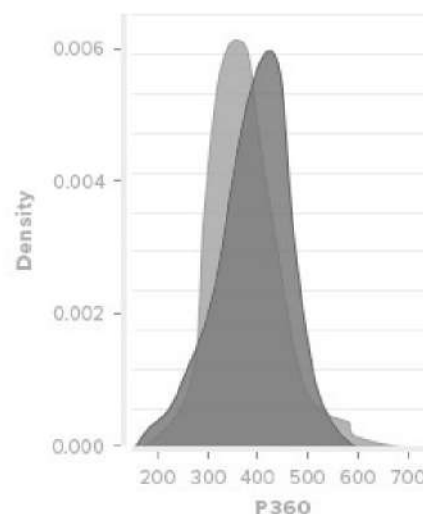
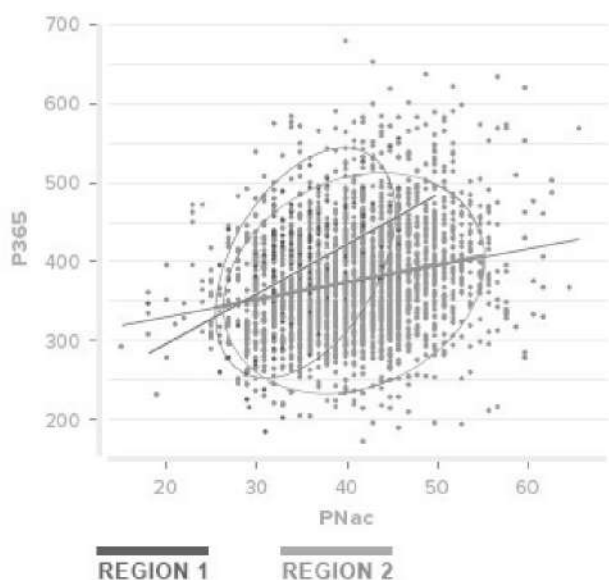
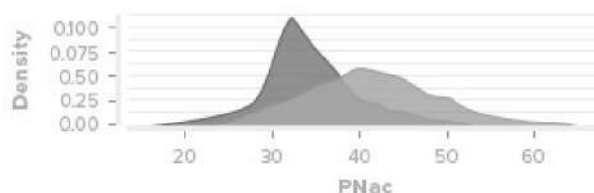
Meuwissen TH, Hayes BJ, Goddard ME. 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*. 157(4):1819-1829.

FIGURA 1. Uso de los marcadores SNP en el estudio de poblaciones de ganado bovino Charolais.



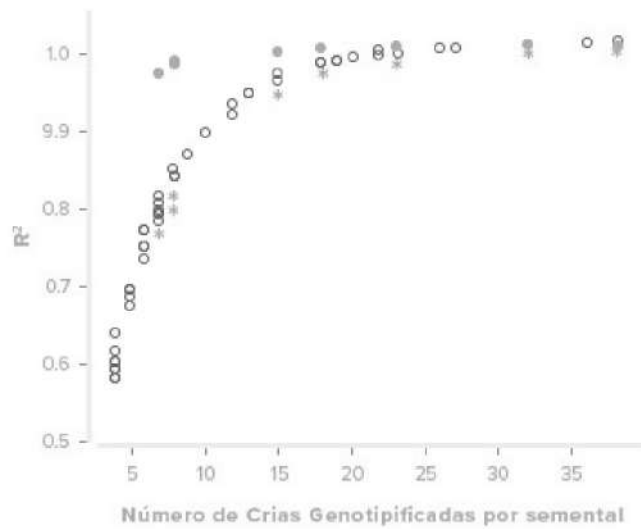
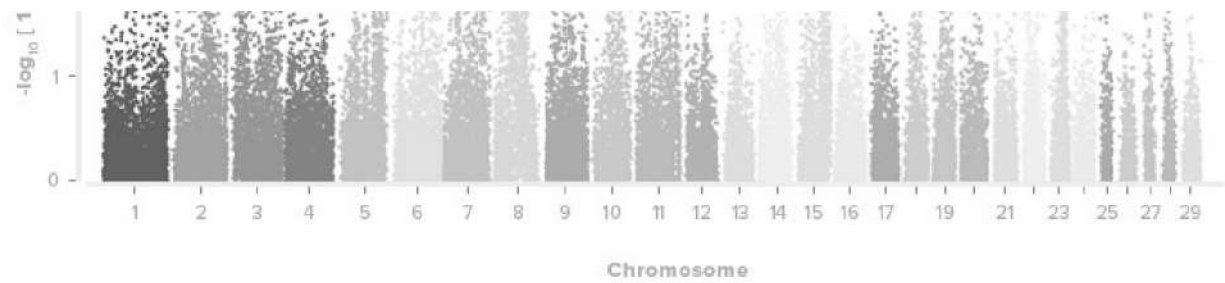
A Gráfico de cajas mostrando la distribución del peso al nacimiento en cada una de las clases genotípicas del SNP rs42512403. Considerando algunos efectos ambientales que también influyen en el peso al nacimiento como son el sexo, hato, año, época de nacimiento y edad de la madre, el efecto estimado para el alelo A se reduce a 1.6 kg.

B Relación fenotípica entre el peso al nacimiento y peso al año en las poblaciones noroeste (región 1) y noreste (región 2). Los datos graficados representan 6000 registros fenotípicos.



C Gráfico de Manhattan donde se muestran las regiones del ADN más significativas conteniendo señales de selección.

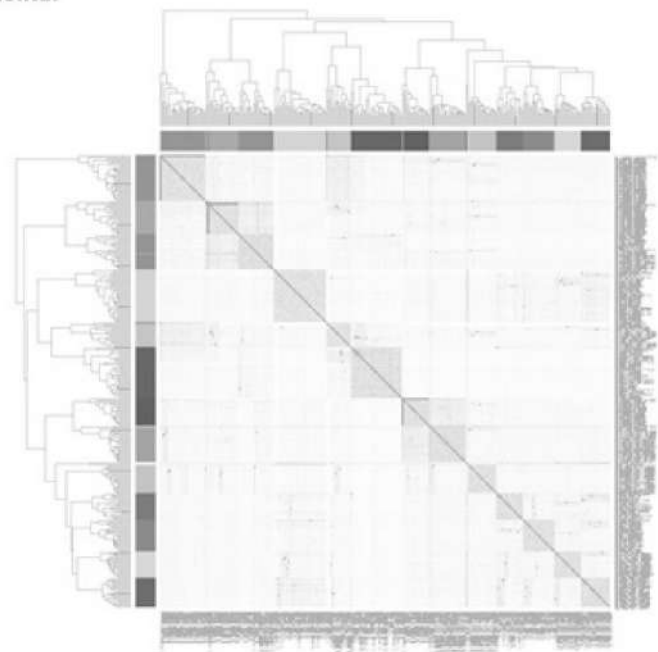




D Resultados de imputación de genotipos mostrando la proporción de SNP imputados, SNP correctamente imputados y la exactitud de imputación.

- Proporción de SNP Imputados
- * Proporción de SNP Imputados correctamente
- Exactitud de Imputación

E Matriz de homocigotos opuestos donde se compara la agrupación en base al pedigrí de 13 familias de medios hermanos paternos (horizontal superior) contra la agrupación de familias inferidas a partir de los marcadores SNP (vertical izquierdo).



Tuberculosis bovina, ¿Dónde estamos y hacia dónde vamos?

Introducción

La tuberculosis bovina sigue siendo una de las principales preocupaciones sanitarias y económicas en el mundo, esta enfermedad es causada principalmente por *Mycobacterium bovis* (*M. bovis*) bacteria con un amplio rango de hospederos. El interés mundial en el control y erradicación de la tuberculosis bovina se justifica tradicionalmente no solo por el deterioro cuantitativo y cualitativo de los principales indicadores productivos y reproductivos que provoca en esta especie, sino además por los incrementos en los costos de producción que genera su diagnóstico, las pérdidas económicas debido al decomiso de canales y por las restricciones comerciales para la comercialización del ganado procedente de hatos afectados [1]. Se estima que el impacto económico global de la tuberculosis bovina es de 3 millones de dólares anuales [2].

La zoonosis causada por *M. bovis* en países en desarrollo es considerada esporádica, gracias a las acciones de control de la enfermedad y a la obligatoriedad de la pasteurización de los productos lácteos. No obstante, en los últimos años se ha reportado un incremento en el número de casos de tuberculosis por *M. bovis* en algunas regiones de los Estados Unidos de América, atribuida a la población migrante de países de bajos recursos (especialmente de México) asociada al consumo de productos lácteos no pasteurizados [3]. Sin embargo, a pesar de que la principal vía de contagio de tuberculosis bovina es por el consumo de leche no pasteurizada desde hace 29 años se reconoce como riesgo ocupacional el contagio por contacto cercano con animales infectados entre veterinarios, ganaderos y trabajadores de rastro [4]. De hecho, estudios realizados en el estado de Querétaro muestran que la prevalencia de tuberculosis bovina en humanos puede ser cercana al 6% [5]. Es por eso que el control de la tuberculosis en el ganado es uno de los principales pilares para la prevención de la enfermedad en el hombre en el marco de una salud?

De esta forma, con el objetivo de prevenir, controlar y erradicar la tuberculosis bovina, el 8 de marzo de 1996 se publicó la Norma Oficial Mexicana, NOM 031-ZOO-1995, Campaña Nacional contra la Tuberculosis Bovina (*Mycobacterium bovis*), modificada el 27 de agosto de 1998, la cual es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional. Gracias a su aplicación, actualmente el 85.77% del territorio nacional tiene una prevalencia menor al 0.5%, a excepción de las cuencas lecheras donde la prevalencia oscila entre el 1 al 14.2% [6]. Se estima que la estrategia de prueba y segregación de vaquillas de reemplazo, reducirá la transmisión de la enfermedad y la prevalencia intra-hato; sin embargo, la vacunación es considerada por algunos una estrategia fundamental para reducir la prevalencia de la enfermedad en las cuencas lecheras [1].

Avances en la vacunación contra la tuberculosis bovina

El Bacilo Calmette Guérin (BCG) es derivado de una cepa de *M. bovis*, la cual fue aislada de una vaca con granulomas tuberculosos en glándula mamaria, perdió su capacidad de causar enfermedad a través de una serie de pases en rebanadas de papa mojadas en glicerol [7]. La distribución global del bacilo BCG propició que surgieran docenas de subcepas, genotípicamente diferentes; siendo las más usadas: BCG Pasteur (1173P2), BCG-Japón (Tokio 172), BCG-Danese (Copenhague 1331) y BCG Glaxo (1077) [8, 9].

En 1911 Calmette y Guérin, reportaron que el bacilo BCG protegía al ganado contra una infección experimental por *M. bovis*, a partir de ese momento se realizaron numerosas evaluaciones en diversos países para determinar la eficacia de la vacuna BCG en el ganado [1]. Pero ha sido en las últimas dos décadas donde se ha logrado un mayor entendimiento de los parámetros que afectan la eficacia de la vacuna BCG [10]. Actualmente se sabe que el nivel de protección brindado por las cepas BCG Pasteur y Danese es similar [11] y que el uso de dosis bajas (10^4 - 10^6 UFC) son más efectivas ante desafíos experimentales [12, 13]. De la misma forma, la vacunación en animales neonatos (< 1 mes de edad) induce mejores niveles de protección a diferencia de la vacunación en animales de 6 meses de edad. Sin embargo, esta protección no es de larga duración, en animales neonatos se observó protección hasta los 12 meses de edad, no así a los 24 meses [14]. El momento de revacunación también es un

parámetro importante, pues se ha observado que la revacunación de animales dos años después de la primera dosis vacunal mejora la protección ante *M. bovis*; no obstante, la revacunación de neonatos 6 semanas después de la primera dosis vacunal muestran una menor protección comparada con aquellos animales vacunados en una sola ocasión [1].

Las variaciones en la carga genética del bovino y su ambiente también puede afectar la eficacia de la vacunación. Las razas de ganado cebú (*Bos indicus*) muestran un mayor grado de protección después de la vacunación con BCG que las razas de ganado europeo (*Bos taurus*) [15]. Así mismo se ha observado cierto grado de protección contra *M. bovis* en animales expuestos a *M. avium*, aunque otros estudios han mostrado que este efecto protector no es aumentado tras la administración de BCG, por lo que en estos casos la vacunación solo ofrece una protección limitada [16].

Por otra parte, la vacunación con BCG confiere una protección muy variable tanto en bovinos como en el humano. Debido a esto existe un enorme esfuerzo en el desarrollo de nuevas vacunas que mejoren la protección brindada por el bacilo BCG. Se han evaluado vacunas atenuadas, mutantes, vacunas de DNA, subunidades proteicas e incluso vectores virales que expresan algún antígeno inmunodominante [10]. Sin embargo, ninguna de las vacunas evaluadas hasta el momento previenen la infección por *M. bovis*; incluso, en algunos casos no evitan la formación de lesiones granulomatosas. Las vacunas más exitosas, solo generan una respuesta inmune que resultan en la formación de lesiones menos severas y/o en una menor carga bacteriana en diversos órganos [2]. Por lo tanto, uno de los principales desafíos es la correcta evaluación de la eficacia vacunal. Algunos parámetros de eficacia identificados hasta el momento son: baja producción específica de IFN- γ , producción de iNOS, IL-4 y M1P1 y una baja proliferación de células T CD4+ [2, 11].

Avances en el diagnóstico de la tuberculosis bovina

El diagnóstico de la tuberculosis bovina se fundamenta en la aplicación intradérmica de la tuberculina descubierta por Robert Koch en 1890, el objetivo es identificar la presencia de los linfocitos T del huésped que han sido expuestos y están sensibilizados a antígenos específicos de *M. bovis* [17]. La vieja tuberculina descubierta por Koch fue mejorada hasta convertirse en lo que hoy conocemos como PPD (Purified Protein Derivative, por sus siglas en inglés), el cual fue introducido en 1934 [18].

En 1942 se empezó a utilizar el PPD bovino y el PPD aviar para poder distinguir entre una infección por *M. bovis* y otras micobacterias como *M. avium* subsp. *paratuberculosis* [19].

La tuberculina ha sido la pieza clave para realizar programas exitosos de erradicación en muchos países. Información internacional indica que la tuberculina muestra un rango de sensibilidad del 68%-96.8% y de especificidad de 96%-98.8% [20]. Esta variación de la respuesta es debida a muchos factores, pero sobre todo a la pobre caracterización del PPD (muchos antígenos de esta se comparten con otras micobacterias), por lo que en algunos casos no permite una diferenciación entre animales verdaderamente infectados con *M. bovis* y animales sensibilizados por micobacterias ambientales, lo que representa un serio problema en lugares donde es común la infección con paratuberculosis. Aunado a esto, la vacunación con BCG sensibiliza al ganado hacia el PPD; siendo esta una de las principales limitaciones para la implementación de la vacunación en el ganado. Es por eso que es necesario la identificación de antígenos con mayor especificidad y que permitan diferenciar individuos infectados con *M. bovis* de los vacunados con BCG (diagnóstico DIVA) para facilitar la continuación de los programas de erradicación y control de la tuberculosis bovina [21].

Gracias a la secuenciación del genoma de *M. bovis* y *M. tuberculosis* fue posible examinar las diferencias entre estas especies. Se descubrió que aunque ambas son 99,95% idénticas, *M. bovis* ha perdido varios genes en comparación con *M. tuberculosis* [22]. De la misma forma, el proceso de atenuación de BCG ha generado la eliminación de varias regiones genómicas, entre ellas la región de diferencia 1 (RD1) [23]. En esta región se encuentran codificados los antígenos ESAT-6 y CFP-10 los cuales han recibido mucha atención debido a que son antígenos altamente inmunogénicos y permiten una diferenciación entre animales infectados y vacunados [24-25]. Los estudios indican que el uso de estos antígenos en forma de cóctel proteico permite identificar a una importante proporción de animales que escapan a la identificación con la prueba cervical comparativa [26]. La continua búsqueda de antígenos con potencial DIVA ha permitido la identificación de otros antígenos como Rv3615c, Rv3020c, Rv1986, Rv3872 y Rv3878. Estos antígenos solo se han detectado en bovinos infectados naturalmente por *M. bovis* y están ausentes en animales vacunados con BCG [2]. Por lo que son excelentes candidatos para el diagnóstico DIVA [21] aunque se requiere profundizar en su eficacia.

Así mismo, se ha propuesto el uso de pruebas alternativas o complementarias a la prueba de tuberculina, una de estas es la prueba de IFN- γ , desarrollada en Australia en 1990 [27]. Esta prueba presenta una sensibilidad y especificidad superior a la

prueba de la tuberculina (87.7% y 99.2%, respectivamente) [20]; además, el uso de ambas pruebas en paralelo mejora sustancialmente la sensibilidad (95.2%) [28]. Tiene la ventaja que el criterio para definir a un animal como positivo puede ser ajustado para mejorar la sensibilidad o especificidad de la prueba. Pero sobre todo, detecta a una importante proporción de animales que escapan a la detección con la prueba intradérmica porque permite la identificación temprana de animales infectados desde los 14 días [12]. Esta prueba ha sido evaluada en muchos países, y actualmente es usada como prueba diagnóstica complementaria a la prueba de la tuberculina en la Unión Europea, Estados Unidos y Australia. Sin embargo, debido a su alto costo, comparado con la prueba de la tuberculina, la necesidad de personal y equipo especializado, y a las limitaciones logísticas es difícil su aplicabilidad en países en desarrollo.

Así mismo, actualmente existen diversas pruebas moleculares para la identificación del material genético de la micobacteria; sin embargo, parece no haber consenso en cuanto a los métodos de extracción de ADN y blanco génico a identificar. Los genes más comunes incluyen secuencias del ARNr 16S, la región intergénica del ARNr 16S-23S, las secuencias de inserción IS6110, IS1801, los genes *hsp65*, *rpoB*, *recA*, *dnaj*, *sodA*, genes que codifican para las proteínas de 32 kDa y mpb70 [29]; de la misma forma, se han desarrollado algunos sistemas que permiten una diferenciación entre *M. tuberculosis* y *M. bovis* [30]. Pero, a pesar de que los métodos moleculares permiten la obtención de un diagnóstico más rápido, la variabilidad en la sensibilidad obtenida impide la sustitución de los métodos convencionales de aislamiento e identificación de *M. bovis* que aunque son lentos y engorrosos, siguen siendo la prueba de oro para la detección definitiva de *M. bovis*. De esta forma, uno de los proyectos de investigación de nuestro laboratorio involucra la expresión de las proteínas RpfB y RipA las cuales promueven la replicación y regeneración de las células micobacterianas *in vitro*; nuestros resultados muestran que con el uso de estas proteínas es posible identificar el crecimiento de la micobacteria a partir del segundo día de incubación a diferencia, de las 8 semanas requeridas para la identificación tradicional. Otras líneas de investigación de nuestro grupo de investigación es la identificación de biomarcadores de eficacia vacunal y la evaluación y generación de nuevos antígenos para el diagnóstico diferencial entre animales vacunados e infectados con *M. bovis*.

Conclusión

Sin duda, en los últimos años ha habido un gran avance en el entendimiento de la inmunopatogenia de la tuberculosis bovina, lo que ha permitido el avance en el desarrollo de vacunas y métodos de diagnóstico de nueva generación. No obstante, aún quedan importantes obstáculos que vencer antes de que estos estén disponibles para su uso en campo. Por ejemplo, el desarrollo de reactivos DIVA con la sensibilidad y especificidad requerida, y sobre todo a un costo que permita su uso de forma general. Aunado a esto, aún existen importantes preguntas a resolver, por ejemplo: ¿Cuál es la eficacia de BCG y otras vacunas en campo? ¿Por qué solo una proporción de los animales vacunados son protegidos? ¿Existe una forma de identificar tempranamente a estos animales? ¿Cómo será el desempeño de los reactivos DIVA en campo y en animales vacunados y desafiados en campo? Estas son solo ejemplo de algunas preguntas que necesitan esclarecerse antes de la implementación de estas estrategias de control; no obstante, gracias al trabajo multidisciplinario enormes avances se han logrado al momento, por lo que estas y otras limitantes podrán ser subsanadas en el futuro.

Referencias

1. Vordermeier HM, Jones GJ, Buddle BM, Hewinson RG, Villarreal-Ramos B. Bovine Tuberculosis in Cattle: Vaccines, DIVA Tests, and Host Biomarker Discovery. Annual review of animal biosciences. 2016;4:87-109. Epub 2016/02/18. doi: 10.1146/annurev-animal-021815-111311. PubMed PMID: 26884103.
2. Waters WR, Palmer MV, Buddle BM, Vordermeier HM. Bovine tuberculosis vaccine research: historical perspectives and recent advances. Vaccine. 2012;30(16):2611-22. Epub 2012/02/22. doi: 10.1016/j.vaccine.2012.02.018. PubMed PMID: 22342705.
3. Rodwell TC, Moore M, Moser KS, Brodine SK, Strathdee SA. Tuberculosis from Mycobacterium bovis in binational communities, United States. Emerging infectious diseases. 2008;14(6):909-16. Epub 2008/05/30. doi: 10.3201/eid1406.071485. PubMed PMID: 18507901; PubMed Central PMCID: PMC2600278.
4. Robinson P, Morris D, Antic R. Mycobacterium bovis as an occupational hazard in abattoir workers. Australian and New Zealand journal of medicine. 1988;18(5):701-3. Epub 1988/08/01. PubMed PMID: 3072951.

5. Milián-Suazo F, Pérez-Guerrero L, Arriaga-Díaz C, Escartín-Chavez M. Molecular epidemiology of human cases of tuberculosis by *Mycobacterium bovis* in Mexico. Preventive Veterinary Medicine. 2010; 97: 37-44.
6. Plan Estrategico Conjunto entre Estados Unidos-México para la colaboración en Tuberculosis Bovina. 2013-2018.
7. Vordermeier M, Hewinson RG. Development of cattle TB vaccines in the UK. Veterinary immunology and immunopathology. 2006;112(1-2):38-48. Epub 2006/05/10. doi: 10.1016/j.vetimm.2006.03.010. PubMed PMID: 16682085.
8. Behr MA, Wilson MA, Gill WP, Salamon H, Schoolnik GK, Rane S, et al. Comparative genomics of BCG vaccines by whole-genome DNA microarray. Science (New York, NY). 1999;284(5419):1520-3. Epub 1999/05/29. PubMed PMID: 10348738.
9. Tran V, Liu J, Behr MA. BCG Vaccines. Microbiology spectrum. 2014;2(1):Mgm2-0028-2013. Epub 2014/02/01. doi: 10.1128/microbiolspec.MGM2-0028-2013. PubMed PMID: 26082111.
10. Buddle BM, Parlane NA, Wedlock DN, Heiser A. Overview of vaccination trials for control of tuberculosis in cattle, wildlife and humans. Transboundary and emerging diseases. 2013;60 Suppl 1:136-46. Epub 2013/11/06. doi: 10.1111/tbed.12092. PubMed PMID: 24171859.
11. Hope JC, Thom ML, McAulay M, Mead E, Vordermeier HM, Clifford D, et al. Identification of surrogates and correlates of protection in protective immunity against *Mycobacterium bovis* infection induced in neonatal calves by vaccination with *M. bovis* BCG Pasteur and *M. bovis* BCG Danish. Clinical and vaccine immunology : CVI. 2011;18(3):373-9. Epub 2011/01/14. doi: 10.1128/cvi.00543-10. PubMed PMID: 21228141; PubMed Central PMCID: PMC3067386.
12. Buddle BM, de Lisle GW, Pfeffer A, Aldwell FE. Immunological responses and protection against *Mycobacterium bovis* in calves vaccinated with a low dose of BCG. Vaccine. 1995;13(12):1123-30. Epub 1995/08/01. PubMed PMID: 7491820.
13. Palmer MV, Waters WR, Whipple DL. Aerosol delivery of virulent *Mycobacterium bovis* to cattle. Tuberculosis (Edinburgh, Scotland). 2002;82(6):275-82. Epub 2003/03/08. PubMed PMID: 12623270.
14. Thom ML, McAulay M, Vordermeier HM, Clifford D, Hewinson RG, Villarreal-Ramos B, et al. Duration of immunity against *Mycobacterium bovis* following neonatal vaccination with bacillus Calmette-Guerin Danish: significant protection against infection at 12, but not 24, months. Clinical and vaccine immunology : CVI. 2012;19(8):1254-60. Epub 2012/06/22. doi: 10.1128/cvi.00301-12. PubMed PMID: 22718125; PubMed Central PMCID: PMC3416081.
15. Hope JC, Villarreal-Ramos B. Bovine TB and the development of new vaccines. Comparative immunology, microbiology and infectious diseases. 2008;31(2-3):77-100. Epub 2007/09/04. doi: 10.1016/j.cimid.2007.07.003. PubMed PMID: 17764740.
16. Stanford JL, Shield MJ, Rook GA. How environmental mycobacteria may predetermine the protective efficacy of BCG. Tubercle. 1981;62(1):55-62. Epub 1981/03/01. PubMed PMID: 7268920.
17. Andersen P, Munk ME, Pollock JM, Doherty TM. Specific immune-based diagnosis of tuberculosis. Lancet (London, England). 2000;356(9235):1099-104. Epub 2000/09/29. PubMed PMID: 11009160.
18. Francis J, Choi CL, Frost AJ. The diagnosis of tuberculosis in cattle with special reference to bovine PPD tuberculin. Australian veterinary journal. 1973;49(5):246-51. Epub 1973/05/01. PubMed PMID: 4197735.
19. Monaghan ML, Doherty ML, Collins JD, Kazda JF, Quinn PJ. The tuberculin test. Veterinary microbiology. 1994;40(1-2):111-24. Epub 1994/05/01. PubMed PMID: 8073619.
20. Schiller I, Vordermeier HM, Waters WR, Whelan AO, Coad M, Gormley E, et al. Bovine tuberculosis: effect of the tuberculin skin test on in vitro interferon gamma responses. Veterinary immunology and immunopathology. 2010;136(1-2):1-11. Epub 2010/03/12. doi: 10.1016/j.vetimm.2010.02.007. PubMed PMID: 20219253.
21. Cockle PJ, Gordon SV, Lalvani A, Buddle BM, Hewinson RG, Vordermeier HM. Identification of novel *Mycobacterium tuberculosis* antigens with potential as diagnostic reagents or subunit vaccine candidates by comparative genomics.

Infection and immunity. 2002;70(12):6996-7003. Epub 2002/11/20. PubMed PMID: 12438379; PubMed Central PMCID: PMCPMC132958.

22. Garnier T, Eiglmeier K, Camus JC, Medina N, Mansoor H, Pryor M, et al. The complete genome sequence of *Mycobacterium bovis*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2003;100(13):7877-82. Epub 2003/06/06. doi: 10.1073/pnas.1130426100. PubMed PMID: 12788972; PubMed Central PMCID: PMCPMC164681.
23. Brosch R, Gordon SV, Marmiesse M, Brodin P, Buchrieser C, Eiglmeier K, et al. A new evolutionary scenario for the *Mycobacterium tuberculosis* complex. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2002;99(6):3684-9. Epub 2002/03/14. doi: 10.1073/pnas.052548299. PubMed PMID: 11891304; PubMed Central PMCID: PMCPMC122584.
24. Bottai D, Brosch R. Mycobacterial PE, PPE and ESX clusters: novel insights into the secretion of these most unusual protein families. Molecular microbiology. 2009;73(3):325-8. Epub 2009/07/16. doi: 10.1111/j.1365-2958.2009.06784.x. PubMed PMID: 19602151.
25. Vordermeier HM, Cockle PC, Whelan A, Rhodes S, Palmer N, Bakker D, et al. Development of diagnostic reagents to differentiate between *Mycobacterium bovis* BCG vaccination and *M. bovis* infection in cattle. Clinical and diagnostic laboratory immunology. 1999;6(5):675-82. Epub 1999/09/03. PubMed PMID: 10473516; PubMed Central PMCID: PMCPMC95753.
26. Flores-Villalva S, Suarez-Guemes F, Espitia C, Whelan AO, Vordermeier M, Gutierrez-Pabello JA. Specificity of the tuberculin skin test is modified by use of a protein cocktail containing ESAT-6 and CFP-10 in cattle naturally infected with *Mycobacterium bovis*. Clinical and vaccine immunology : CVI. 2012;19(5):797-803. Epub 2012/03/16. doi: 10.1128/cvi.05668-11. PubMed PMID: 22419675; PubMed Central PMCID: PMCPMC3346340.
27. Rothel JS, Jones SL, Corner LA, Cox JC, Wood PR. A sandwich enzyme immunoassay for bovine interferon-gamma and its use for the detection of tuberculosis in cattle. Australian veterinary journal. 1990;67(4):134-7. Epub 1990/04/01. PubMed PMID: 2115767.
28. de la Rua-Domenech R, Goodchild AT, Vordermeier HM, Hewinson RG, Christiansen KH, Clifton-Hadley RS. Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: a review of the tuberculin tests, gamma-interferon assay and other ancillary diagnostic techniques. Research in veterinary science. 2006;81(2):190-210. Epub 2006/03/04. doi: 10.1016/j.rvsc.2005.11.005. PubMed PMID: 16513150.
29. Collins DM. Advances in molecular diagnostics for *Mycobacterium bovis*. Veterinary microbiology. 2011;151(1-2):2-7. Epub 2011/03/23. doi: 10.1016/j.vetmic.2011.02.019. PubMed PMID: 21420257.
30. Espinosa de los Monteros LE, Galan JC, Gutierrez M, Samper S, Garcia Marin JF, Martin C, et al. Allele-specific PCR method based on *pncA* and *oxyR* sequences for distinguishing *Mycobacterium bovis* from *Mycobacterium tuberculosis*: intraspecific *M. bovis pncA* sequence polymorphism. Journal of clinical microbiology. 1998;36(1):239-42. Epub 1998/02/12. PubMed PMID: 9431955; PubMed Central PMCID: PMCPMC124842.

Diarrea epidémica porcina en México: un enfoque interdisciplinario para atender la problemática emergente

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Microbiología Animal, INIFAP.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.

³Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, UNAM.

⁴Posdoctorado, CONACYT-UNAM.

⁵Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, IPN.

⁶Facultad de medicina, UNAM.

Los primeros casos

La diarrea epidémica porcina (DEP) es una enfermedad emergente en el entorno de la porcicultura nacional. Se detectó por primera vez en el continente americano en el año 2013, específicamente en Estados Unidos de Norteamérica. En México, los primeros casos sospechosos se registraron en junio y julio de 2013, en la zona de la Piedad Michoacán. Se registraron pérdidas millonarias, principalmente asociadas a la alta mortalidad en cerdos lactantes, la cual llegó a ser de hasta el 100%. Los primeros clínicos en reconocer el cuadro gastroentérico requerían del diagnóstico diferencial con gastroenteritis transmisible (GET), sin embargo, existían en ese momento pocas herramientas disponibles. Una de las alternativas de diagnóstico que se empleó, fueron las pruebas rápidas por cromatografía en fase sólida. Estas pruebas, importadas de forma clandestina, ayudaron en gran medida, a diagnosticar los primeros casos de DEP en México. Posteriormente, se enviaron muestras al extranjero y mediante el apoyo de las universidades (principalmente de Minnesota y Iowa), se logró la confirmación mediante RT-PCR y posterior secuenciación. En ese momento en México se organizaba la Asociación de Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos (AMVEC), para poner a disposición de productores, médicos veterinarios, clínicos de campo y especialistas de laboratorio, información de actualidad acerca del tema. Con simposios y cursos, se distribuyó de forma acelerada información que confirmaba, cada vez más, la certeza del ingreso de la DEP en la porcicultura mexicana. Se conformó un grupo para apoyar a la SENASICA, en el abordaje de esta problemática. Los grupos de trabajo propusieron alternativas, sin embargo, un requisito indispensable para poder dar una declaratoria oficial de la presencia del virus de la DEP, fue establecer las condiciones para el aislamiento viral y otras técnicas de diagnóstico, por lo que el grupo de Virología del CENID-Microbiología Animal desarrolló proyectos de investigación, de los cuales se desprenden los resultados que a continuación se presentan.

Diagnóstico diferencial

Como primer abordaje, en el año 2013, se establecieron pruebas moleculares para el diagnóstico del vDEP, y diagnóstico diferencial del vGET, de Rotavirus A (RoV-A) y del Deltacoronavirus porcino (DCoV). Con el uso de una RT-PCR se diagnosticó la presencia del vDEP y DCoV en muestras colectadas en el año 2013 y 2014. Los resultados se presentan en el **Cuadro 1**.

AÑO DE COLECTA	Muestras Positivas DEP / Muestras Analizadas	Muestras positivas RoV-A / muestras analizadas	Muestras positivas vGET / muestras analizadas	Muestras positivas DCoV / muestras analizadas
2013	7/7	0/7	0/7	3/7
2014	19/42	0/42	0/42	15/42
2016	8/18	0/18	0/18	0/18
TOTAL	34/67	0/67	0/67	18/67

CUADRO 1 | Detección molecular de virus que causan cuadros entéricos en cerdos lactantes

Con los datos obtenidos se confirmaba la circulación del vDEP y su asociación con los brotes de diarreas presentes en las granjas porcinas. Un resultado destacable fue la positividad para DCoV, mismo que fue reportado a principios de 2014 en Estados Unidos (aunque su presencia fue detectada desde 2013, en estudios retrospectivos).

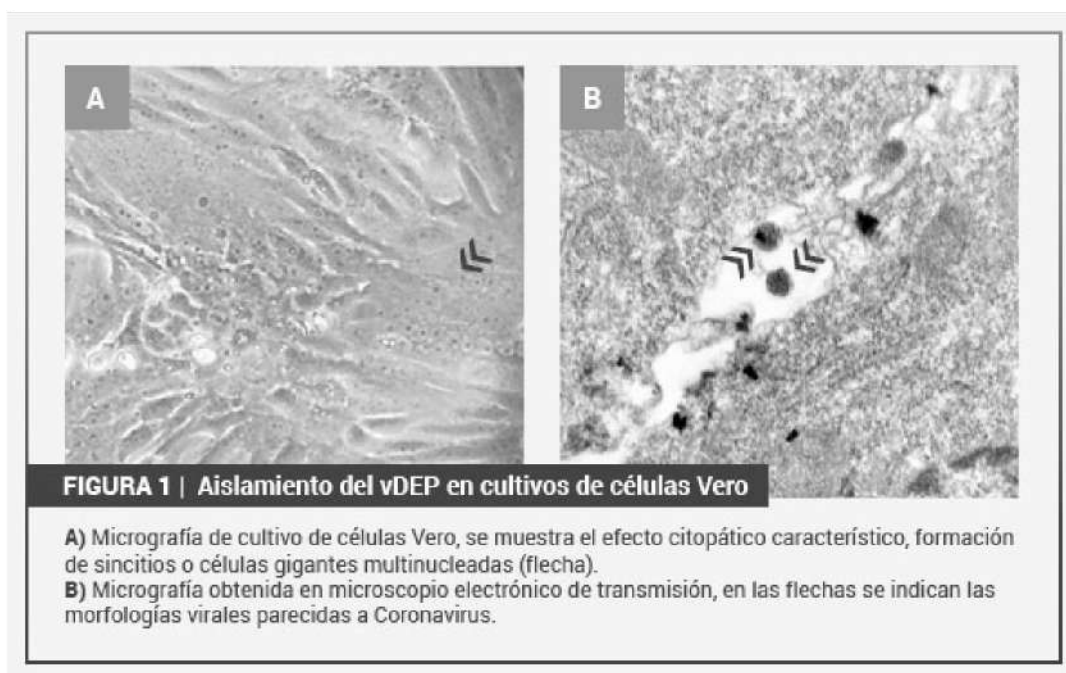
Diagnóstico confirmatorio y caracterización molecular del gen Spike del vDEP

Una vez identificado el vDEP, se procedió a confirmar el diagnóstico mediante pruebas específicas para discriminar cepas virulentas o variantes. Esta prueba molecular, se desarrolló mediante la RT-PCR en tiempo real. Con el uso de una sonda específica que hibrida en una región conservada para cepas virulentas y una sonda para cepas variantes, se puede realizar el diagnóstico confirmatorio y se obtiene información valiosa para identificar el tipo de cepa circulante. De un total de 116 muestras analizadas, 103 (88.8%) resultaron positivas a vDEP. El 87.4% de las muestras positivas correspondieron a cepas virulentas y el 12.6% a cepas variantes o tipo INDEL (con inserciones y deleciones en el gen Spike). Se seleccionaron 10 muestras, de las cuales se amplificó y secuenció el gen Spike completo. Las secuencias pertenecen a seis estados de México. El alineamiento se realizó utilizando secuencias previamente reportadas pertenecientes al G1a, G1b, G2a, G2b e INDEL, para comparar las secuencias obtenidas en el presente estudio. Mediante el alineamiento de aminoácidos se realizó el análisis de los epítopes neutralizantes. En la región COE se determinó que respecto a la cepa USA/Colorado/2013 existen mutaciones en siete de las diez cepas analizadas, sin embargo, los epítopes SS2, SS6 y 2C10 se mantiene conservados. Se identificó una inserción de tres aa (238LGL240) en dos cepas identificadas en Jalisco en el año 2016. El alineamiento permitió identificar que de acuerdo a los genogrupos existen cambios en residuos específicos, lo que podría tener una implicación importante en el reconocimiento de anticuerpos para diversas cepas. (Revisar: Lara-Romero, R., Gómez-Núñez, L., Cerriteño-Sánchez, J.L. et al. Virus Genes (2018) 54: 215. <https://doi.org/10.1007/s11262-017-1528-x>).

Aislamiento del vDEP en cultivos celulares

Como se comentó anteriormente, el aislamiento viral permitió que se realizara la declaratoria oficial de la presencia del vDEP en el territorio nacional y que fuera modificada la lista de enfermedades de notificación obligatoria, considerando al vDEP en la lista 3, en donde se encuentran las enfermedades endémicas. El reconocimiento oficial y el cambio de estatus en el listado, permite a los diversos actores tomar medidas más efectivas, en la actualidad se puede desarrollar investigación aplicada que provea alternativas en diagnóstico y en el desarrollo de biológicos, así mismo permite el ingreso de vacunas disponibles en mercados extranjeros. Por lo que resulta en un beneficio para el productor. En el laboratorio de Virología del CENID-Microbiología animal, del INIFAP, se han desarrollado y modificado protocolos de aislamiento viral. El primoaislamiento es frecuente y no conlleva una gran dificultad, sin embargo, mantener la infectividad del vDEP en cultivos, requiere de estrategias diversas para lograr la replicación. En relación a esto, el uso de enzimas proteolíticas en los medios de cultivo permite realizar modificaciones en la proteína Spike del vDEP, lo que activa su infectividad. Sin embargo, la actividad proteolítica de estas enzimas puede ser perjudicial para los cultivos, por lo que optimizar la concentración y tiempos de incubación son indispensables para lograr el objetivo. A partir de muestras de campo y de infecciones experimentales se ha establecido un protocolo de infección en cultivos de células Vero empleando diversas enzimas proteolíticas, los resultados obtenidos indican que esta estrategia es más efectiva que mediante el uso exclusivo de tripsina, por lo que se ha convertido en una alternativa

para realizar el aislamiento viral y mantener la infectividad a través de los pases en cultivo celular. En la Figura 1 se presenta el efecto citopático identificado en células Vero y una micrografía obtenida en microscopio electrónico de transmisión, en donde se observan morfologías virales parecidas a Coronavirus.



Desarrollo de una RT-PCR cuantitativa y validación con cepas mexicanas

Para realizar el diagnóstico cuantitativo se desarrolló una RT-PCR en tiempo real cuantitativa, para ello se empleó la información obtenida en la caracterización molecular del gen Spike. Se diseñaron un par de iniciadores y una sonda específica de una región conservada, lo que aseguró la detección de las diferentes cepas circulantes y detectadas en México por nuestro grupo de trabajo. La validación se realizó amplificando las diferentes cepas caracterizadas y mediante un estudio experimental. En el estudio experimental se emplearon muestras de lechones infectados con cepas virulentas y variantes. La prueba presentó un límite de detección de 3 y 4 copias de ARN del vDEP por reacción (para cepas virulentas y variantes, respectivamente). La sensibilidad y especificidad analítica, empleando las muestras experimentales, resultó en un 94 y 75 %, respectivamente.

Desarrollo de proteínas recombinantes del vDEP para su uso en pruebas serológicas

Para determinar las regiones de la proteína S con mayor potencial para ser producidas de manera recombinante, se usaron los algoritmos de Kyte y Doolittle, Jameson-Wolf y Kolaskar y Tongaonkar para predecir la región de anclaje a la membrana y los sitios potencialmente antigénicos. Finalmente, la probabilidad de que una región determinada se encuentre en la superficie de la proteína se evaluó mediante el enfoque de Emini. Dentro de los resultados encontrados; la secuencia de aminoácidos de la proteína S de USA/Colorado/2013 presenta las regiones S1 (1-789 a.a) y S2 (790-1383 a.a) y tal como se ha descrito previamente, la región S1 posee dos dominios, el dominio N-terminal (NTD) que se encuentra posicionado en los 9-433 residuos de aminoácidos (a.a.) y el dominio de unión al receptor C-terminal (RBD) en los 490-615 a.a. La posición de los epítomos antigénicos conocidos como ?centrales? SS2 (751-758 a.a.) y SS6 (767-774 a.a.) se encontraron en la región del epítomo antigénico S1D5-S1D6 (744-771 a.a.). Por lo tanto, se decidió expresar una región correspondiente al dominio N-terminal truncado (NTD) de la proteína S, que incluye la región expuesta de la proteína que interactúa con el receptor celular, a la cual denominamos NTD(1135). Por otra parte, se expresó otra región que incluye las regiones del epítomo S1D5-S1D6 con los epítomos conocidos como centrales SS2 y SS6 (678-953 a.a.), al cual denominados S1D (834). De acuerdo con la predicción antigénica, NTD(1135) tiene al menos 14 regiones potencialmente inmunogénicas, el RBD contiene 7 y S1D(834) contiene por lo menos 10 epítomos, distribuidos a lo largo de la región S1, conformando la región de mayor índice antigénico en la proteína Spike. Por otra parte, se encontró otra región potencialmente antigénica en el C-terminal de S2 correspondiente a aproximadamente los 1100-1300 a.a. La escala de hidrofobicidad de Kyte y Doolittle mostró una región transmembrana (TM) a través de la cual la proteína se ancla a la membrana del virus, que corresponde a 1328-1350 a.a. Esta región se descartó para su

expresión en el sistema de *E. coli* debido a problemas futuros con la solubilidad de la proteína recombinante, además; en esta región no se encontró regiones antigénicas. Por último, la proteína Spike presenta pocas regiones con probabilidad de exponerse a la superficie en la estructura terciaria, se encontró un bajo índice de probabilidad en el NTD (1135) y S1D(834), inesperadamente; la región del C-terminal de S2 (1100-1300 a.a.) tiene la mayor región de probabilidad de ser expuestos en la superficie de la proteína S.

La secuencia de las proteínas NTD(1135) y S1D(834) derivadas del gen S se amplificó usando como plantilla los vectores pJET-NTD(1135) y Topo-S1D(834). Después de la ligación de los genes NTD(1135) y S1D(834), se analizó la orientación correcta de los insertos en los plásmidos recombinantes mediante restricción enzimática, PCR y secuenciación. Por último, los plásmidos recombinantes que sobre producen las proteínas recombinantes se denominaron pETSUMO-NTD(1135) con 6778 pb y pETSUMO-S1D (834) con 6477 pb. El sistema de expresión produce proteínas recombinantes fusionadas a la etiqueta de 6 his para permitir su purificación por cromatografía de afinidad IMAC y la proteína SUMO para potenciar la sobreexpresión, todo bajo inducción de IPTG. Se usaron los vectores pETSUMO-NTD(1135) y pETSUMO-S1D(834), para la transformación de células competentes BL21 (DE3). Las proteínas producidas han sido purificadas y se han realizado ensayos de reconocimiento antigénico mediante Western blot y ELISA, obteniendo resultados favorables.

Estos desarrollos se han realizado con el apoyo de Ingenieros en biotecnología y en Bioquímica, estas dos ramas de las ciencias de la vida son indispensables cuando se abordan problemáticas diversas como la emergencia de enfermedades, en este caso, la diarrea epidémica porcina. Nuestro grupo de trabajo continúa trabajando, actualmente en el desarrollo de un biológico que permita generar inmunidad en hembras y así proteger a las camadas susceptibles. La DEP ha dejado en evidencia que se debe trabajar de forma acelerada y con distintos enfoques para lograr el éxito en el control y posible erradicación de enfermedades que impactan económicamente a los poricultores.

Efectividad del enriquecimiento ambiental en sistemas de producción de cerdos

Resumen

El sistema de producción de cerdos preponderante en América Latina es el intensivo. Si bien estos sistemas son eficientes productivamente, presentan problemas de bienestar animal que pueden reducir la eficiencia económica como consecuencia del estrés o por el rechazo de consumidores que están demandando un producto más acorde con el bienestar animal. El enriquecimiento ambiental se ha utilizado como una estrategia para mejorar el bienestar animal, no obstante en América Latina escasamente se ha implementado, posiblemente por desconocimiento de las ventajas probadas científicamente y su aplicabilidad. En este trabajo se revisan los tipos de enriquecimiento ambiental, la efectividad demostrada y las etapas en las que se utiliza cada tipo de enriquecimiento. Los cambios de comportamiento y los cambios fisiológicos relacionados con reducción del estrés son los más frecuentes de encontrar; mejoras productivas directas no siempre se encuentran, no obstante no se producen pérdidas productivas. También se reportan mejoras cognitivas y en el estado emocional de los cerdos, lo cual es beneficioso para el bienestar animal y puede ser evaluado positivamente por el consumidor que demanda una mejor calidad de vida para los animales de abasto.

Palabras clave: enriquecimiento ambiental, cerdos, bienestar animal, comportamiento animal.

Introducción

La producción de cerdos en América Latina está basada principalmente en sistemas productivos intensivos, en los cuales, los cerdos se mantienen confinados en un ambiente poco estimulante. Estos sistemas optimizan costos productivos, no obstante pueden presentar problemas de bienestar animal, concepto que se entiende como el estado óptimo de un animal considerando los intentos para sobrellevar su ambiente (Broom, 1986). Así, en un ambiente confinado los animales se exponen a varios factores estresantes (Casal-Plana, *et al.*, 2017), es muy común que se mantengan en una alta densidad que contribuye a la respuesta estrés (Cornale *et al.*, 2015) y el ambiente poco interactivo representan un escenario que no proporciona oportunidades para expresar conductas propias de la especie tales como la exploración y forrajeo, lo que también afecta la funcionalidad del animal y reduce su bienestar (Markowitz y Line, 1990). A esto se le suma una negativa percepción de los consumidores sobre el bienestar de los cerdos en sistemas productivos (Tawse, 2010).

Una estrategia para mejorar el bienestar animal, reduciendo el estrés y promoviendo conductas típicas de la especie, es la implementación de programas de enriquecimiento ambiental (EFSA, 2007). Este concepto se define como la modificación de un ambiente de cautiverio pobre de estímulos que apunta a mejorar el funcionamiento biológico de los animales (Newberry, 1995). El propósito del enriquecimiento ambiental es mejorar la calidad del cuidado de los animales en confinamiento, proporcionando estímulos biológicamente relevantes que permitan a los animales realizar conductas especie-específicas altamente motivadas (Newberry, 1995; Mench, 1998; Mason *et al.*, 2007). Así, los objetivos de un programa de enriquecimiento ambiental deberían ser: 1) aumentar el número y rango de conductas normales expresadas por el animal, 2) mantener o aumentar el nivel de salud; 3) mejorar el rendimiento económico y productivo y 4) práctico de implementar (van de Weerd & Day, 2009). Para lograr estos objetivos, las estrategias de enriquecimiento ambiental deberán basarse en la comprensión del comportamiento y fisiología de la especie en cuestión y los resultados deberán permitir mejoras en el rendimiento productivo (Young, 2003; FASS, 2010).

En el caso de los cerdos, el enriquecimiento ambiental debería promover conductas sociales, de forrajeo y exploración, y disminuir la presentación de conductas anormales como estereotipias e indeseables como mordeduras de orejas y cola y *belly nosing* (trompear el vientre del compañero) (van de Weerd & Day, 2009).

Desde el 2001, año en que la Comisión Europea adoptó la Directiva (2001/93/EC) que exige que los cerdos deben recibir enriquecimiento ambiental, se han realizado un sin número de estudios sobre este tópico (van de Weerd & Day, 2009; Averós *et al.*, 2010). Esta Directiva establece que *¿los cerdos deben tener acceso permanente a una suficiente cantidad de material que permita la investigación y actividades de manipulación?*.

En los estudios realizados en cerdos se han probado distintos tipos de enriquecimiento ambiental comparando su efectividad en términos de mejoramiento en la eficiencia productiva (Greguri-Grañer *et al.*, 2013), promover la expresión de una mayor diversidad de comportamientos propios de la especie (Brajon *et al.*, 2017), reducción de conductas anormales (Casal-Plana *et al.*, 2017) y reducción de la respuesta fisiológica al estrés, entre otros (Nannoni *et al.*, 2016).

En América Latina la implementación de enriquecimiento ambiental en producción de cerdos aun no es una práctica común. Es probable que una de las razones sea el desconocimiento de las opciones de enriquecimiento ambiental y sobre las reales ventajas que se pueden obtener, que justifiquen la inversión en recursos tan valiosos como mano de obra, tiempo y materiales. En este estudio se revisan las alternativas de enriquecimiento ambiental que se han probado en cerdos, los efectos encontrados y en la etapa productiva que se utilizan, con el propósito de que con la información recopilada los interesados puedan evaluar la factibilidad de la implementación de programas de enriquecimiento ambiental asociados a buenas prácticas de bienestar animal en cerdos de producción intensiva.

Tipos de enriquecimiento ambiental

Según Bloomsmit *et al.* (1991) los tipos de enriquecimiento ambiental se pueden agrupar en cinco categorías: social, ocupacional, físico, sensorial, nutricional. La tabla 1 resume y describe los distintos tipos de enriquecimiento ambiental que se pueden realizar.

Se han revisado distintos tipos de enriquecimiento ambiental (ver tabla 2), los cuales se han validado con paneles de expertos (Bracke *et al.*, 2006; Bracke *et al.*, 2007). De esta forma se ha reportado que objetos metálicos colgados no son adecuados, los de goma, cuerdas, madera, bloques minerales son buenos métodos, pero la paja es el mejor estímulo de enriquecimiento ambiental. En cerdos en crecimiento y engorda se han evaluado críticamente los tipos de enriquecimiento ambiental y se ha encontrado que la paja y objetos fijos en la pared han demostrado los mejores efectos (van de Weerd & Day, 2009). Adicionalmente se han publicado guías de tipos de enriquecimiento ambiental como la elaborada por la AHDB (2017). La información que proporciona esta guía se divide en secciones por tipo de alojamiento, descripción de los tipos de enriquecimiento más recomendables para cada sistema, incluyendo sus propiedades, cómo presentar el enriquecimiento, las cantidades y las consideraciones prácticas, así como la facilidad de instalación, mantenimiento y costos.

Tabla 1 Tipos de enriquecimiento ambiental (Bloomsmith et al. 1991; FASS, 2010).

TIPO DE ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Social	Contacto directo o indirecto (visual, olfativo, auditivo) con sus congéneres o con otras especies, incluyendo humanos.	Mejorar relación humano animal, manejar grupos de animales socialmente estables.
Ocupacional	Estímulos psicológicos que promueven el control del ambiente y que alientan la realización de ejercicio físico.	Dispositivos como juguetes masticables, material para hacer nidos.
Físico	Alteración del tamaño o la complejidad del recinto del animal o la adición de accesorios al mismo, como objetos, sustrato o estructuras permanentes.	Nidos, material de cama, barreras y/o subdivisiones.
Sensorial	Estímulos visuales, auditivos, olfativos, táctiles y gustativos.	Televisión, música, vocalizaciones, aromas, estimulación táctil.
Nutricional	Variedad de presentación, tipo o forma de entrega del alimento.	Alimento más fibroso, comederos novedosos.

Efectos del enriquecimiento ambiental en cerdos

La medición de la efectividad del enriquecimiento ambiental es lo que permite evaluarlo y recomendarlo a productores (ver tabla 2). Averós *et al.* (2010) realizaron un meta-análisis para evaluar el efecto del enriquecimiento ambiental en cerdos de engorda. Se consideraron los efectos combinados con el espacio disponible por cerdo, tamaño del grupo, características del piso y el sustrato que se utiliza como cama, y los efectos de

una variedad de estímulos ambientales en la actividad general, conductas dirigidas al objeto, conducta social y rendimiento productivo. Se encontraron cambios en el comportamiento de los cerdos como aumento del tiempo de exploración asociado a la presencia de cama y al proporcionar objetos fijos, aumento del tiempo de manipulación con objetos suspendidos y deformables, no obstante no se encontraron efectos significativos en la ganancia de peso.

En otro estudio, sin embargo, sí se encontraron efectos positivos en la ganancia de peso en cerdos en crecimiento (Greguri?-Gra?ner *et al.*, 2013).

El uso de música con frecuencia modificada, ajustada al rango de tolerancia auditiva de los cerdos ha mostrado una disminución de las conductas agresivas y aumento del descanso en lechones durante la lactancia (Jiménez *et al.*, 2017). Si se utiliza música es importante evaluar el efecto en los animales, ya que puede producir estimulación más que relajación (Oyaneder *et al.*, 2017).

Un efecto novedoso del enriquecimiento ambiental es la estimulación cognitiva. Se ha reportado que los animales expuestos a enriquecimiento ambiental presentan una mejor memoria espacial y de trabajo (Jansen *et al.*, 2009; Grimberg-Henrici *et al.*, 2016), como también mejora el estado mental, induciendo a un sesgo cognitivo optimista (Douglas *et al.*, 2012). Esto último es relevante, ya que en la actualidad se le está dando mayor importancia a la experimentación de estados emocionales placenteros al evaluar el bienestar animal (Mellor 2016).

Etapa productiva y enriquecimiento ambiental

La implementación de enriquecimiento ambiental en cada una de las etapas productivas, si bien todas apuntan a mejorar el rendimiento productivo, hay matices y énfasis que difieren.

Destete: En la transición destete ? postdestete, es crucial un adecuado consumo de alimento sólido para un crecimiento óptimo y salud de los lechones. Sin embargo, a pesar de que se han aplicado diversos manejos para estimular el consumo de alimento, la mayoría de los lechones presentan dificultades para aceptar el cambio de dieta sólida (Wattanakul *et al.*, 2005). En este sentido, proporcionar enriquecimiento ambiental después del destete puede facilitar el proceso del destete para los lechones proporcionándoles una distracción y así, reducir la respuesta estrés de este manejo (Oliveira *et al.*, 2016).

Cerdos en engorda: El mayor número de estudios se ha realizado en esta etapa. Lo que se intenta promover es una conducta social balanceada y estimular las conductas exploratorias. Uno de los beneficios que trae el enriquecimiento ambiental en esta etapa es que puede reducir las mordeduras de cola en cerdos con cola sin descolar. En este sentido, el uso de paja ha sido el estímulo más efectivo (van de Weerd *et al.*, 2006).

Cerdas en gestación y parto: la gestación en grupo es una tendencia reciente en Latinoamérica, influenciada por la exigencias de consumidores en otras partes del mundo (Schulz & Tonsor, 2015). Mantener hembras de primer parto y cerdas adultas en corrales puede ser difícil debido a los diversos factores que pueden afectar su bienestar, tales como tamaño del corral, composición del grupo, sistema de alimentación, nutrición individual y cuidado de salud (Bench *et al.*, 2013a,b). Además, las cerdas en grupo podrían pelear mientras se estabiliza el grupo social, causándose lesiones de mediana a severa gravedad. En este sentido, la provisión de enriquecimiento ambiental a cerdas en

grupo puede disminuir la agresión entre ellas y también la presentación de estereotipias por disminución de la frustración (Horback *et al.*, 2016).

Una de las conductas que se restringe en los sistemas productivos tradicionales es la construcción del nido. Recientemente se ha estudiado el efecto de proporcionar material para que las cerdas construyan su nido, el resultado de ese estudio fue un incremento en el nivel de oxitocina y prolactina, reducción de la duración del parto y mejora en las conductas de cuidado de la progenie (Yun *et al.*, 2013; Westin *et al.*, 2015).

Discusión

La información analizada permite identificar que hay un gran número de opciones para realizar enriquecimiento ambiental en cerdos, el cual produce cambios positivos que benefician el bienestar animal. Si bien existen alternativas más efectivas que otras, por ejemplo, el uso de paja que no siempre es factible de utilizar, hay muchas otras opciones que demuestran un aumento de conductas de forrajeo, exploratorias y sociales; mejoran el uso del espacio y desarrollo de habilidades cognitivas. Los cambios conductuales a menudo se acompañan de cambios fisiológicos que muestran una reducción del estrés.

Los cambios productivos como ganancia de peso y conversión alimenticia no se encuentran siempre, en efecto, diversos estudios no logran demostrarlo. No obstante, los resultados no muestran la producción se vea reducida, de manera que este argumento no debería hacernos descartar la implementación del enriquecimiento ambiental.

Teniendo información contundente sobre las ventajas del enriquecimiento ambiental, no obstante no se implementa con frecuencia en la actualidad en América Latina. Para promover efectivamente la aplicación de programas de enriquecimiento ambiental, sería recomendable realizar una investigación sobre las causas que detienen a los productores para implementar esta práctica, para diseñar una estrategia de promoción de su uso dadas las claras ventajas para el bienestar de los cerdos en sistemas de producción intensivo. Además de realizar estudios para conocer el efecto que puede tener la implementación de programas de bienestar animal en el consumidor final, quizá la gente estaría más contenta al saber que se procuró el bienestar de los cerdos durante su proceso de crianza.

Conclusión

Existen diversas formas de enriquecimiento ambiental para cerdos probadas con respaldo científico y cuyos resultados están disponibles en la literatura. Los beneficios para los cerdos son claros y contundentes, por lo que para mejorar el bienestar de los cerdos en sistemas de producción intensiva se debería incorporar esta práctica dentro de guías de buenas prácticas para el bienestar animal.

Tabla 2

Ejemplos de tipo de enriquecimiento ambiental, su efecto y etapa productiva en cerdos en sistemas productivos intensivos.

TIPO DE ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL	EFFECTO PRODUCTIVO / SANITARIO	EFFECTO FISIOLÓGICO / SALUD	EFFECTO CONDUCTUAL	ETAPA PRODUCTIVA	REFERENCIA
Mezcla de: objetos fijos, cuerda de cáñamo, pelotas y aserrín.	-Sin efecto en ganancia de peso		-↑ Exploración -↓ Estereotipias -↓ Conductas redirigidas	Cerdos en crecimiento	Casal-Plana et al. (2017)
Compuestos herbales: <i>Valeriana officinalis</i> y <i>Passiflora incarnata</i>	-Sin efecto en ganancia de peso	-↓ Número de lesiones corporales.	-↓ Interacciones sociales	Cerdos en crecimiento	Casal-Plana et al. (2017)
Neumáticos, pelota colgada, cadena colgada	-↑ Ganancia de peso			Cerdos en crecimiento	Gregurić-Gračner et al. (2013)
Pelotas, paja, aras de madera		-↓ Cortisol salival		Cerdos en crecimiento	Van der Staay et al. (2017)
Pelotas y juguetes fijos masticables			-↑ Exploración -↓ Interacciones sociales negativas	Cerdos en engorda	Gálvez et al. (2015)
Viruta de madera ²³ + juguete colgante ⁴	-↑ Peso / mejor conversión alimenticia			Destete	Oliveira et al. (2016)
Cuerdas de algodón colgadas, tiras de goma colgadas, cubo de madera.		-Sin efecto en lesiones en el cuerpo	Preferencia por cuerdas colgadas	Gestación en corral	Horback et al. (2016)
Música clásica		-↑ Cortisol -↓ Haptoglobina -↓ Variabilidad de la frecuencia cardíaca	Sin efecto en la disminución de estereotipias	Cerdas gestantes	Oyaneder et al. (2017)
Material para nido ⁵		-↑ Oxitocina -↑ Prolactina	-↑ Construcción de nido -↑ Conductas maternas	Cerdas en preparto-lactancia	Yun et al. (2013)
Turba	-↑ Ganancia de peso	Sin efecto en frecuencia y severidad de lesiones	-↑ Forrajeo -↓ Conductas agresivas a compañeros -↓ Inactividad	Lactancia y recría	Vanheukelom et al. (2011)
Música con frecuencia modificada	-No afecta la ganancia de peso	-No afecta la mortalidad	-↑ Descanso -↓ Agresividad	Lechones en lactancia	Jiménez et al. (2017)
Paja suelta	-↑ Ganancia de peso	-↓ Lesiones en las colas		Cerdos en crecimiento sin cola cortada	Van de Weerd et al. (2006)

²³Cama de viruta de madera de 25 cm de alto.

⁴Juguete colgante desde el techo con cadenas y algunas cadenas con neumáticos.

⁵Material de nido: cubos de aserrín, periódico triturado, cubos de paja picada, ramas de árbol y cuerdas naturales de sisal de 50 cm de longitud

Referencias

Averós, X., Brossard, L., Dourmad, J., de Greef, K.H., Edge, H.L., Edwards, S.A., Meunier-Salaun, M.C. 2010. A meta-analysis of the

combined effect of housing and environmental enrichment characteristics on the behaviour and performance of pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 127: 73?85.

AHDB, 2017. A Practical Guide to Environmental Enrichment for Pigs. A handbook for pig farmers. © Agriculture and Horticulture Development Board 2017.

Bench, C.J., Rioja-Lang, F.C., Hayne, S.M., Gonyou, H.W., 2013a. Group gestation housing with individual feeding?I, How feeding regime, resource allocation, and genetic factors affect sow welfare. *Livestock Science*, 152: 208?217.

Bench, C.J., Rioja-Lang, F.C., Hayne, S.M., Gonyou, H.W., 2013b. Group gestation sow housing with individual feeding?II, How space allowance, group size and composition, and flooring affect sow welfare. *Livestock Science*, 152: 218?227.

Bloomsmith, M. A., L. Y. Brent, and S. J. Schapiro. 1991. Guidelines for developing and managing an environmental enrichment program for nonhuman primates. *Laboratory Animals Science*, 41:372?377.

Bracke, M.B., Zonderland, J.J., Lenskens, P., Schouten, W.G.P., Vermer, H., Spoolder, H.A.M., Hendriks, H.J.H., Hopster, H. 2006. Formalised review of environmental enrichment for pigs in relation to political decision making. *Applied Animal Behavior Science*, 98: 165?182.

Bracke, M.B., Zonderland, J.J., Bleumer, E.J., 2007. Expert judgement on enrichment materials for pigs validates preliminary RICHPIG model. *Applied Animal Behavior Science*, 104: 1?13.

Brajona, S., Ringgenberg, N., Torrey, S., Bergeron, R., Devillers, N. 2017. Impact of prenatal stress and environmental enrichment prior to weaning on activity and social behaviour of piglets (*Sus scrofa*). *Applied Animal Behaviour Science*, 197: 15?23.

Broom, D. 1986. Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142: 524?526.

Casal-Plana, N., Manteca, X., Dalmua, A., Fàbreg, E. Influence of enrichment material and herbal compounds in the behaviour and performance of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 195: 38?43.

Cornale, P., Macchi, E., Miretti, S., Renna, M., Lussiana, C., Perona, G., Mimosi, A. 2015. Effects of stocking density and environmental enrichment on behavior and fecal corticosteroid levels of pigs under commercial farm conditions. *Journal of Veterinary Behavior*, 10: 569 ? 576.

Douglas, C., Bateson, M., Walsh, C., Bédudé, A., Edwards, S.A. 2007. Scientific Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission on Animal Health and Welfare in fattening pigs in relation to housing and husbandry. *EFSA J.* 564, 1?14.

Federation Animal Science Society, 2010. Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Research and Teaching. Third Edition. © Federation of Animal Science Societies, 2010. All rights reserved.

Grimberg-Henrici, Ch.G.E., Vermaak, P., Bolhuis, J.E., Nordquist, R., van der Staay, F.J. 2016. Effects of environmental enrichment on cognitive performance of pigs in a spatial holeboard discrimination task. *Animal Cognition*, 19:271-283.

Horback, K.M., Pierdon, M.K., Parsons, T.D. 2016. Behavioral preference for different enrichment objects in a commercial sow herd. *Applied Animal Behaviour Science*, 184: 7?15.

Jansen, J., Bolhuis, J.E. 2009. Spatial learning in pigs: effects of environmental enrichment and individual characteristics on behaviour and performance. *Animal Cognition*, 12:303-315.

Jiménez, V., Plaza, A., Sepulveda, D., Acosta, J., Atlagich, M., Zapata, B. 2017. Evaluación del efecto conductual y productivo de música con frecuencia modificada en un sistema productivo comercial. En: Memorias del 51 Congreso de la Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos A.C. Pp 304-305. 19 -21 julio, Querétaro, México.

Markowitz, H., Line, S. 1990. The need for responsive environments. In: Rollin, B.E., Kesel, M.L. (Eds.) *The Experimental Animal in Biomedical Research*, vol. I. CRC Press, USA, pp. 153?170.

Mason, G., R. Clubb, N. Latham, and S. Vickery. 2007. Why and how should we use environmental enrichment to tackle stereotyped behaviour? *Applied Animal Behaviour Science*, 102:163?188.

Mench, J.A., 1998. Environmental enrichment and the importance of exploratory behavior. In: Sheperdson, D.J., Mellen, J.D., Hutchins, M. (Eds.), *Second Nature, Environmental Enrichment for Captive Animals*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp. 30?46.

Nannoni, E., Sardi, L., Vitali, V., Trevisi, E., Ferrari, A., Barone, F., Bacci, M.L., Barbieri, S., Martelli, G. 2016. Effects of different enrichment devices on some welfare indicators of post-weaned undocked piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 184: 25?34.

- Newberry, R.C. (1995). Environmental enrichment: increasing the biological relevance of captive environments. *Applied Animal Behavior Science*, 44, 229-243.
- Gálvez, S., Atlagich, M., Zapata, B. 2015. Behavioural changes stimulated by occupational environmental enrichment in fattening pigs in intensive farm system. In: Proceeding of International conference on pig welfare: Improving pig welfare ¿what are the ways forward? P. 92. Copenhagen, Denmark, 29th - 30th April 2015.
- Oliveira, R.F., Soares, R.T.R.N., Molino, J.P., Costa, R.L., Bonaparte, T.P., Silva Júnior, E.T., Pizzutto, C.S., Santos, I.P. 2016. Environmental enrichment improves the performance and behavior of piglets in the nursery phase. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.68, n.2, p.415-421.
- Schulz, L.L., Tonsor, G.T., 2015. The US gestation stall debate. *Choices* 30, 177.
- Tawse, J. 2010. Consumer attitudes towards farm animals and their welfare: a pig production case study. *Bioscience horizon*, 3(2): 156 - 165.
- Van de Weerd, H.A., Day, J.E.L. 2009. A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *Applied Animal Behavior Science*, 116: 1720.
- Van de Weerd, H.A., Docking, C.M., Day, J.E.L., Breuer, K., Edwards, S.A. 2006. Effects of species-relevant environmental enrichment on the behaviour and productivity of finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 99: 230-247.
- Van der Staay, F.J., van Zutphen, J.A., de Ridder, M.M., Nordquist, R.E. 2017. Effects of environmental enrichment on decision-making behavior in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 194: 14-23.
- Vanheukelom, V., Driessen, B., Maenhout, D., Geers, R. 2011. Peat as environmental enrichment for piglets: The effect on behaviour, skin lesions and production results. *Applied Animal Behaviour Science*, 134: 42-47.
- Wattanakul, W.; Bulman, C. A.; Edge, H. L.; Edwards, S. A. 2005. The effect of creep feed presentation method on feeding behaviour, intake and performance of suckling piglets. *Applied Animal Behaviour Science*, 92: 27-36.
- Westin, R., Huktgren, J., Algers, B. 2015. Strategic use of straw increases nest building in loose housed farrowing sows. *Applied Animal Behaviour Science*, 166: 63-70.
- Young, R. J. 2003. Environmental Enrichment for Captive Animals. UFAW Animal Welfare Series, Blackwell Publishers, UK.
- Yun, J., Swan, K., Vienola, K., Farmer, C., Oliviero, C., Peltoniemi, O., Valros, A. 2013. Nest-building in sows: Effects of farrowing housing on hormonal modulation of maternal characteristics. *Applied Animal Behaviour Science*, 148: 77-84.
- Zapata, B., Oyaneder, M., Segovia, R., Acosta, J., Atlagich, M. 2017. Evaluación del efecto fisiológico y conductual de música clásica en cerdas gestantes en sistema productivo comercial. En: Memorias del 51 Congreso de la Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos A.C. Pp 261-262. 19 -21 julio, Querétaro, México.

En porcicultura lo más importante, después del cerdo, es el personal

En la industria porcina, definitivamente y realmente seguro estoy, que para todos los que aquí trabajamos, lo más importante del negocio es el cerdo, ya que dependiendo de que él esté bien, de bienestar o de salud, será la respuesta en productividad, que él nos dará y por lo tanto, facilitará que podamos tener un negocio con más utilidades y sobre todo que alcance la rentabilidad justa por lo que se ha invertido.



Para que esto se dé, se necesita más que nunca, de una manera enérgica el contratar y tener personas que cumplan con todas las características, que nuestros tiempos actuales nos exigen.

- Comenzando primeramente sobre la situación de la porcicultura, la cual como siempre sigue con muchos altibajos en el precio del cerdo y de los granos.
- Sin embargo, se ha tenido una relación precio/rastro ? precio/alimento que permite lograr una rentabilidad justa a lo largo de los años y con años muy variables como fue el 2012 muy mal; el 2014 muy sobresaliente en lo muy bueno y por efecto de la enfermedad PED en México y otros países así como buenos el 2015, 2016 y lo que va el 2017.
 - No importando la región se observa el mismo comportamiento.
 - Aún de las condiciones de los últimos años, de la administración de los sistemas de manejo y control de salud, dependerá el éxito en la productividad y rentabilidad.
 - La administración general del negocio porcino lleva consigo mecanismos que permitan planear, ejecutar, dirigir y controlar todas las actividades y sistemas desarrollados de manera continua para poder conseguir los objetivos y presupuestos que de acuerdo a la planeación estratégica se establezcan.
 - Además se deben establecer los sistemas de trabajo para tener productividad constante.
 - Y lograr conjuntar un buen equipo de personas y de trabajo para poder alcanzar los presupuestos, metas, objetivos, planes, etc que tenga la empresa.



DEBEMOS PREGUNTARNOS.

1. Como Porcicultor, Médico Veterinario Zootecnista, Director, Gerente o Empresario, debemos preguntarnos si estamos cumpliendo la expectativa de tener el perfil gerencial, la cultura y el liderazgo que ahora necesitan las empresas agropecuarias para ser rentables.
2. Como podemos eficientar la productividad agropecuaria, volverla agroindustrial, de forma que nos permita dar de comer a la población.
3. Los recursos naturales son finitos, como van a comprometer la perspectiva económica.
4. Como será el Eco-sistema de salud de humanos, vegetales y animales, para ser sustentables.
5. Como seremos capaces de poder liderar a nuestro equipo de personas para ser competitivos, sustentables y rentables.

La contratación de la próxima generación de colaboradores para nuestro equipo y la capacitación de nuestro personal será, una estrategia excelente para cualquier negocio. Cuando como empresa, directores o gerentes entendemos completamente lo que necesitan y desean, se convierte en una oportunidad asombrosa de dar forma al crecimiento futuro, sustentabilidad y rentabilidad de las empresas porcinas.

Tendremos al contratar, colaboradores muy fortalecidos por los tiempos modernos y al conjuntar en equipo con el personal experimentando, le dará un alto valor al capital humano de la empresa porcina.

APRENDER A APRENDER.

- En los tiempos actuales de alta competencia, debemos concientizarnos de la importancia que ahora tiene; la educación, la preparación y la continua nutrición de la mente y cuerpo, actualmente es la inversión más rentable y nos retribuirá el resto de la vida.
- Aprender a aprender es la habilidad que requiere el profesionalista de hoy y del futuro.
- Actualmente el mundo laboral implica muchos retos para los profesionistas y empresarios.
- Todos los individuos necesitan aumentar la capacidad de aprendizaje, su deseo y habilidad para aprender nuevas competencias, para mantenerse relevantes y seguir siendo empleables.
- Tu empleabilidad, es decir tu capacidad para obtener y mantener un empleo, (aún siendo el dueño) no dependerá de lo que ya sabes sino de lo que aprenderás, así que debemos seguir buscando siempre aprender.
- Si queremos permanecer pese a los cambios, debemos tatuarnos la capacidad de aprendizaje, que es el deseo de aprender nuevas habilidades para permanecer empleable durante largos periodos de carrera.
 - Las demandas crean oportunidades, como empresarios nos debemos preparar para tomar y lograr:

? La protección de la salud y el bienestar del cerdo.

? La conservación de los recursos animales y vegetales.

? La producción libre o reducción de antibióticos.

? El mejor manejo del capital humano.

? La promoción de la salud pública y alimento saludables.

? La sustentabilidad y el éxito empresarial (rentabilidad) de las empresas donde trabajamos.

SUPERANDO LA RESISTENCIA, ACTUALIZANDO NUESTROS NEGOCIOS Y NUESTROS EQUIPOS DE TRABAJO

?Lo más barato es hacer bien las cosas?

- Las empresas porcinas deben de estar en condiciones de adaptarse al entorno cambiante si pretenden sobrevivir:



Deben actualizarse en sus equipos de trabajo, para poder conocer lo nuevo y lo que ahora se necesita en la porcicultura actual.

- Tecnología y modernización.
- Administración.
- Competencia

- Gobierno
- Insumos
- Capital humano.
- Salud
- Etc.



CAMBIO DE ESTRATEGIA.

- Los profesionales y el personal de los diferentes niveles en una organización empresarial, son los responsables de elaborar y ejecutar la ?gestión? con carácter de estrategia industrial.



RETROALIMENTACIÓN.

- Los colaboradores necesitan y desean retroalimentación específica, frecuente y clara.
- Los colaboradores requieren para mejorar su desempeño, retroalimentación, equilibrada, constructiva, positiva y frecuente de su desempeño. Muchos trabajadores están ?Activamente desconectados? de lo que ocurre, necesitan saber cuáles son sus calificaciones, sus fortalezas y debilidades para poder actuar oportunamente y corregirlas.

CONTROL DE GESTIÓN.

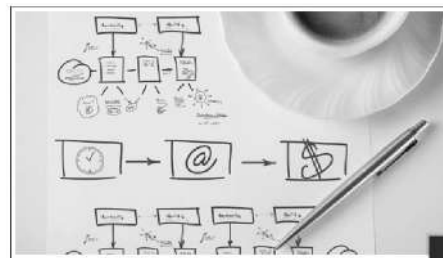
- Se requieren tener juntas de trabajo de todos los niveles para evaluar la gestión y el comportamiento de todos los indicadores.
- En la ejecución eficaz de un negocio, para mejorar el manejo de los recursos más importantes.

- Información/análisis.
- Trabajo en equipo.
- Mejor moral.
- Círculo de calidad.
- Sugerencias para mejorar.

-Principios de aplicación.

- Desechar viejas ideas fijas de cómo hacer las cosas.

- No culpar, trate a los demás como quiere que lo traten.
- Piense positivo, no diga, no se puede.
- No esperar perfección; 50% de mejora está bien.
- Corregir los errores al detectarlos.
- Es mejor la sabiduría de 5 personas que la de 1.
- Basar las decisiones en los datos y no en las opiniones.
- La mejora se realiza en la operación, no en la oficina.



- Para los empleados, el dinero, la seguridad y los beneficios ya no siempre serán los incentivos suficientes, también necesitan compromiso, disciplina, empoderamiento, nivel de cumplimiento.

- Los colaboradores según su posición y nivel deberán saber y conocer.

PARÁMETROS ECONÓMICO ? PRODUCTIVOS.

- Los parámetros económico ? productivos y de producción que tengan la importancia económica, para así al tenerlos al día evaluarlos y así poder tomar decisiones oportunas.

- Con el cambio constante de los insumos y de la propia industria, se deben retomar los análisis de los parámetros económico ? productivos y los parámetros de producción relacionados con los indicadores de negocio ejem:

- CA
- Precio rastro/precio alimento.
- Precio promedio alimento.
- Costos de producción en % y por \$ costo por kg producido.
- Inventario
- Diferencia precio rastro/precio global.
- Parámetros en producción.
- Etc.

CULTURA DE LA INFORMACIÓN.

- ¿El uso inteligente de datos en la toma de decisiones nos da?
 - Identidad como empresa.
 - Cultura Empresarial.
 - Cultura Organizacional.
 - Cultura equipo de trabajo.



- ¿Una cultura que comparten sus integrantes, información de lo individual a lo grupal?.

ESTRATEGIAS DE NEGOCIO.

Y en las estrategias de negocio con la información haremos las siguientes preguntas:



PREGUNTAS.

- ¿Cómo energizo y actualizo a mi compañía para transformarla?
- ¿Cómo logro la eficiencia de costos y al mismo tiempo genero crecimiento?
- ¿Cómo administro la transformación del negocio, para que sea perdurable?
- ¿Cómo mantengo a mi equipo de trabajo motivado sobre los objetivos?
- ¿Cómo logro la rentabilidad justa?

CAPITAL HUMANO.

RECLUTAMIENTO

- Gente: de primera, con mucha fuerza a sobrevivir ante un mundo globalizado.
- Reclutamiento: personal indicado.
 - Hay concordancia entre las personas indicadas y los valores medulares de la compañía.
 - Las personas indicadas no necesitan supervisión estrecha.
 - Las personas indicadas comprenden que no tienen un ?trabajo?, sino una responsabilidad.
 - Las personas indicadas sienten pasión por la empresa y por la responsabilidad que tienen.
 - Las personas indicadas son fieles a sus compromisos.
 - Las personas indicadas reflejan madurez.



- Recibimiento persona adecuada
 - Sobre el recibimiento del personal nuevo, se recomienda cuidar mucho el primer día.

GERENTE DE GRANJA	PRODUCCIÓN
Obrero al llegar.	Gte. MVZ Ing.
Recibir e invitar un café Darle un overol y botas limpias. Darle sus rutinas y procedimientos.	Invitarlo a desayunar. Overol y botas nuevas. Explicarle todos los procedimientos.
Obrero al irse.	Gte. MVZ Ing.
Estar con el 15 minutos. Evaluar cómo le fue. Plantearle un futuro mejor si tiene actitud y se esfuerza.	Tener una junta de 30 minutos al final. Evaluar cómo le fue. Plantearle un futuro mejor si tiene actitud y se esfuerza.

- El gerente debe estar pendiente de la capacitación de los nuevos empleados y estar pendientes de la rotación en todas las áreas involucradas (choferes, etc).

Qué necesitamos:

- Actitud y disciplina, querer ser mejores.
- Administración.
- Certificación/ Rutinas de trabajo, procedimientos, etc.
- Capacitación.
- Eficiencia, eficacia y productividad.
- Profesionalismo
- Planes de incentivos.
 - Incentivos por periodo por indicadores de productividad y eficiencia.
 - Incentivos por año.- Bono anual ? responsable granja y gerente gral. ? Vend /?/ Año y CA.
 - Planta de alimento.- Se debe fijar incentivo por separado en eficiencia planta, eficiencia granja, mermas, CA, etc.
 - Incentivos sujetos a revisión y deberán mejorarse año con año en base a eficiencia y productividad.
 - El programa se puede cancelar en cualquier momento, aceptado y entendido por el personal, sujeto al comportamiento del personal.

CAPACITACIÓN.

- Ahora más que nunca la capacitación y la actitud de las personas es más importante que el saber, pero no ejecutarlo.
?Entrena a la gente lo suficientemente bien, como para que puedan irse, trátalas lo suficientemente bien, como para que

quieran quedarse?
(Virgin) Richard Bronson.

?Solo hay algo peor que formar a tus empleados y que se vayan...
No formarlos y que se queden?
(Ford) Henry Ford.

?Si crees que la formación es cara... prueba con la ignorancia?
(Ex rector Harvard University) Derek Bok.

QUÉ LES IMPIDE A LAS EMPRESAS CONVERTIRSE EN GRANDES.

- Falta de liderazgo principalmente y problemas de seguridad.
¿Qué ocurre en la empresa, cuando los roles no están bien definidos?
Los trabajadores se sienten perdidos y desmotivados, lo que provoca baja productividad.
El líder debe tener una estrategia y planeación de trabajo, si no es así la empresa es reactiva y no activa. Se mueven según sucede a su alrededor.
Se debe evitar la improvisación.

COMO SER UN BUEN LÍDER PROFESIONAL.

1. Asume tu responsabilidad.
2. Sal de tu zona de confort.
3. No esperes retroalimentación (estudia).
4. Hechos no palabras.
5. Prepárate.
6. Levanta la mano.
7. Practica la comunicación efectiva.
8. Ejercita tu disciplina.
9. Cuida tu imagen.
10. Muestra humildad.

ERRORES EN TU LIDERAZGO.

Con el estrés de dirigir un negocio y al interactuar con clientes y la gerencia con las personas se pueden cometer errores:

1. Abuso verbal.
2. Demasiado blando.
3. Descargar tu enojo en vez de corregir.
4. Nunca felicitar el buen desempeño.
5. Ser incongruente.
6. Ser pesimista.
7. Perder de vista el resultado.
8. No conocer las motivaciones de tu equipo de trabajo.

CULTURA ORGANIZACIONAL.

No respetar ni aplicar las políticas y procedimientos de las empresas afecta la productividad, ya que impacta en la motivación del empleado.



LA DISCIPLINA EN LAS EMPRESAS.

Problemática actual.

- Todas las empresas deben tener un reglamento interno de trabajo (ejemplo: uniforme, procedimientos, programas, etc.) y de elementos normativos (seguridad de las personas, uso de los celulares, no comer en cualquier área, etc.).

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA.

Reto de la administración actual.

Hoy en día, los retos de la administración no se reducen a la mejora en la rentabilidad de la empresa y permanencia ? crecimiento en el mercado, sino que incluye también el lograr desarrollar y retener el talento humano y administrar la innovación, modernización y tecnología.

Los administradores deben plantear una estrategia integral.

PRINCIPALES CAUSAS DEL FRACASO EN UNA EMPRESA PORCINA.

1. Ingresos suficientes para subsistir por ineficiente.
2. Falta de indicadores.
3. Falta de procesos de análisis.
4. Falta de planeación y sistemas de trabajo.
5. Improvisación excesiva.
6. Problemas en la ejecución.
7. Falta de capacitación.
8. Fallas administrativas.
9. Indisciplina.
10. Falta de liderazgo.



?Todo lo puede evitar el equipo de trabajo?.

ACTUALIZACIÓN DE NUESTRA EMPRESA DE AGROPECUARIO A AGROINDUSTRIAL.

Mensajes claves.

- Actualizarse
- Contar con un plan de negocio.
- Administración e implantación de sistemas.
- Tecnología y modernización parte crucial de la sustentabilidad.
- Calidad en el manejo, en conjunto con el plan de salud, será la guía de productividad.
- Será necesario un buen uso de la inteligencia mercadológica, para el desarrollo de mercados en la cadena de la proteína animal y así aumentar la demanda.
- Tener un muy buen equipo de trabajo y mejorar la capacitación del personal adecuado, será vital para el desarrollo de todos los procesos y programas.

COLABORADORES.

INNOVA; Renueva tu forma de pensar y de actuar.

SÉ PRODUCTIVO; No te quedes esperando a que vengan tiempos mejores. Es posible que no lleguen. Considera que este momento es la mejor opción.

ES TIEMPO; ¡Actúa ya! Si no sabes pregunta, asesórate, estudia, ejecuta ¡Hazlo ya!

